

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

ANNE CAROLINE OLIVEIRA SILVA

**ESTUDO DE TORRE DE VENTO: ENSAIOS EM TÚNEL DE VENTO VISANDO
AO CONFORTO TÉRMICO E À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES**

**BRASÍLIA – DF
2019**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**ESTUDO DE TORRE DE VENTO: ENSAIOS EM TÚNEL DE VENTO VISANDO
AO CONFORTO TÉRMICO E À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES**

ANNE CAROLINE OLIVEIRA SILVA

ORIENTADOR: EVANGELOS DIMITRIOS CHRISTAKOU

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA CIVIL

BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO – 2019
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTUDO DE TORRE DE VENTO: ENSAIOS EM TÚNEL DE VENTO VISANDO
AO CONFORTO TÉRMICO E À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES**

ANNE CAROLINE OLIVEIRA SILVA

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM
ENGENHARIA CIVIL.**

APROVADO POR:

**Prof. EVANGELOS DIMITRIOS CHRISTAKOU, DSc (UnB)
(ORIENTADOR)**

**Prof. LENILDO SANTOS DA SILVA, DSc (UnB)
(COORDINADOR)**

**Prof. CLÁUDIA MARCIA COUTINHO GURJÃO, DSc (UnB)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

**Prof. FÉLIX ALVEZ DA SILVA JÚNIOR, DSc (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

BRASÍLIA/DF, 10 DE DEZEMBRO DE 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, ANNE CAROLINE OLIVEIRA

Estudo de torre de vento: ensaios em túnel de vento visando ao conforto térmico e à eficiência energética de edificações, 2019.

xv, 61 p., 210 x 279 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2018)

Projeto Final. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, A. C. O. Estudo de torre de vento: ensaios em túnel de vento visando ao conforto térmico e à eficiência energética de edificações, 2019. Publicação G.PF-2/2019, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 76p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Anne Caroline Oliveira Silva

Estudo de torre de vento: ensaios em túnel de vento visando ao conforto térmico e à eficiência energética de edificações.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2019

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Anne Caroline Oliveira Silva

SHCGN 708, Bloco Q, casa 21 – Asa Norte

70.740-777 Brasília – DF – Brasil.

“Se queres prever o futuro, estuda o passado”

Confúcio

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha parceira Rafaella por estar ao meu lado ao longo de todo processo sempre muito paciente, aos meus pais por incentivarem desde cedo a busca por estudo e conhecimento e às minhas irmãs que acompanharam toda a minha dedicação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Cândido e Maristela, devido a criação, educação e orientação que me deram e que me ajudaram a percorrer todo caminho para alcançar meus sonhos, os quais estão se materializando com o encerramento dessa etapa.

Agradeço à minha parceira e companheira de todas as horas, Rafaella Leite, por todo suporte afetivo e emocional, por me ajudar e incentivar no cansativo processo que é o desenvolvimento de um projeto final de graduação.

Agradeço às minhas irmãs, Janaína, Tamires e Thaís, por me ensinarem a compartilhar, por me apoiar e incentivar. Obrigada por fazerem parte da minha história, obrigada pela preocupação, obrigada por não desistirem junto comigo.

Agradeço aos meus orientadores, Evangelos Christakou e Lenildo Santos, por serem sempre muito prestativos e dispostos a repassar todos os seus conhecimentos. Agradeço ao professor Evangelos por ter sido aberto às minhas ideias e não somente, por incentivá-las. E agradeço ao professor Lenildo por todo esforço realizado para que eu conseguisse concluir o estudo.

Agradeço ao professor Francisco Ricardo Cunha e ao mestrando Yuri Zeniti Sinzato pelo suporte oferecido no Laboratório de Mecânica dos Fluidos.

Agradeço à uma família que ganhei com a vida, família França Aguiar, e principalmente Cybele e Sheila, por todo acolhimento, conselhos, ajudas e amizade. Certamente vocês sempre terão um espaço gravado na minha história.

E por fim, mas, com certeza, não menos importante, agradeço aos meus mais fiéis companheiros, meus filhos de quatro patas. Obrigada Nanno por passar todas as madrugadas deitado ao meu lado enquanto estudava e concluía trabalhos e obrigada Sabac por ser tão único e carinhoso.

RESUMO

A média do consumo de energia elétrica tem crescido a cada ano; no Brasil, tal expansão chega à casa de 4% ao ano. Diante disso, é um desafio encontrar alternativas sustentáveis para substituir sistemas que utilizam energia elétrica. O setor de construção civil é um dos que mais consome energia elétrica durante a execução de obras, dispêndio este que persiste após a conclusão das edificações, através da utilização cotidiana dos usuários das construções já finalizadas. Uma forma de contribuir para a redução do consumo de energia elétrica das residências durante seu uso é a escolha da ventilação natural em substituição à ventilação mecânica. Dentre as soluções possíveis está a utilização de torres de vento para o condicionamento de ambientes internos, reduzindo o consumo de energia e alcançando níveis eficientes de conforto térmico. As torres de vento podem funcionar como consequência da diferença de pressão do vento que incide na edificação ou devido à variação de temperatura, de modo que o ar frio entre por uma abertura, refrigerando o interior do local e empurrando o ar quente para fora do edifício. O desenvolvimento do trabalho foi dividido nas seguintes etapas metodológicas: determinação dos modelos reduzidos, definição dos parâmetros de ensaio, programação de sensores e ensaio em túnel de vento. Os resultados obtidos permitiram avaliar a melhor configuração de torre de vento para a redução de temperatura interna dos ambientes. Além disso, foi possível concluir que uma variação de temperatura de 0,5°C pode contribuir para um grande impacto na redução de consumo de energia elétrica, proporcionando bons índices de eficiência energética e conforto térmico aos usuários.

Palavras-chave: eficiência energética, torre de vento, conforto térmico, túnel de vento, ventilação natural.

ABSTRACT

The average consumption of electric energy is growing every year; in Brazil, such expansion reaches 4% per year. Given this, it has become a challenge to find sustainable alternatives to replace systems that use electric energy. The construction sector is one of the most energy-consuming while executing buildings, expenditure that persists after the completion of the buildings through the daily use of users. An alternative that might contribute to the reduction of the consumption of electric energy during the use of properties is to choose natural ventilation in detriment of the mechanical ventilation. Amongst the possible solutions, there's the use of wind towers to the conditioning of indoor environments, reducing the energy consumption and reaching efficient levels of thermal comfort. Wind towers can function through the differences of wind pressure that affect the building or due to temperature variations, so that cool air enters through an opening, cooling the interior of the room and pushing hot air out of the building. This study was conducted through the following methodological steps: the determination of the reduced models, the definition of the test parameters, the sensor programming and the wind tunnel test. The obtained results allowed to evaluate the best wind tower configuration for the reduction of the internal temperature of the environments. In addition, it was concluded that even a decrease of 0.5°C in temperature can contribute to a significant impact on the reduction of electricity consumption, providing a good energy efficient index and thermal comfort to users.

Keywords: energy efficiency, wind tower, thermal comfort, wind tunnel, natural ventilation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO DA PESQUISA	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivos Gerais	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	4
2.2 CONFORTO TÉRMICO	6
2.3 VENTILAÇÃO NATURAL	7
2.3.1 Mecanismos de ventilação natural	8
2.3.2 Aplicação da ventilação natural no Brasil: arquiteto Lelé	11
2.4 TORRES DE VENTO	15
2.4.1 Histórico	16
2.4.2 Funcionamento	18
2.4.3 Estrutura	20
2.5 ENSAIO EM TÚNEL DE VENTO	22
2.5.1 Funcionamento do Túnel de Vento	23
2.5.2 Túnel de Vento e Análise de Conforto Térmico	25
2.6 ARDUINO	25
3. REGIÃO DE ESTUDO	27
3.1 CLIMA DA REGIÃO	28
3.2 EDIFICAÇÃO DE ESTUDO	30
4. METODOLOGIA	32
4.1 DETERMINAÇÃO DO MODELO REDUZIDO	32
4.1.1 Definição da geometria da torre	33

4.1.2	Construção dos modelos reduzidos.....	35
4.2	PARÂMETROS DE ENSAIO	38
4.3	PROGRAMAÇÃO DE SENSORES ARDUÍNO	39
4.4	ENSAIO EM TÚNEL DE VENTO	41
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
5.1	MODELO DE UM PAVIMENTO	44
5.2	MODELO DE DOIS PAVIMENTOS.....	47
5.3	ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	49
6.	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
	APÊNDICES.....	57
	APÊNDICE A	57
	APÊNDICE B	58
	APÊNDICE C	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Efeito Chaminé.....	9
Figura 2: Exaustores eólicos.	9
Figura 3: Lanternins	10
Figura 4: Ventilação Cruzada Horizontal.	10
Figura 5: Hospital Sarah – Salvador.....	13
Figura 6: Sistema de ventilação do Hospital Sarah – Salvador.....	13
Figura 7: Hospital Sarah - Rio de Janeiro.....	14
Figura 8: Forro basculante do Hospital Sarah - Rio de Janeiro.....	14
Figura 9: Torre de vento.....	15
Figura 10: Casa do Faraó Neb-Amun.....	16
Figura 11: Cidade de Yazd, Irã.....	17
Figura 12: Parque Nacional de Zion, Sringdale, EUA.....	17
Figura 13: Ventilação por diferença de pressão.	18
Figura 14: Ventilação por diferença de temperatura.	19
Figura 15: Vista em corte de uma residência com torre de vento.	20
Figura 16: Parte superior da torre de vento.....	20
Figura 17: Torre de vento do Jardim Dowlatabad, em Yazd.	21
Figura 18: Túnel de vento de circuito aberto.	23
Figura 19: Túnel de vento de circuito fechado.....	24
Figura 20: Arduino UNO.....	26
Figura 21: Região de Estudo.....	27
Figura 22: Distribuição dos condomínios no Setor Jardins Mangueiral.	28
Figura 23: Temperaturas médias de Brasília em 2016.....	29
Figura 24: Velocidade média do vento em Brasília.	29
Figura 25: Pavimento térreo da casa em estudo.....	30
Figura 26: Pavimento superior da casa em estudo.	30
Figura 27: Condomínio do Setor Jardins Mangueiral.	31
Figura 28: Planta adaptada para casa térrea de 1 quarto.	32
Figura 29: Torres bidirecionais projetada para o estudo.	33
Figura 30: Torre de vento da edificação de dois pavimentos.	34
Figura 31: Torres de vento da edificação de um pavimento.....	34

Figura 32: Modelo preliminar de uma casa de dois pavimentos.....	35
Figura 33: Planificação das paredes das edificações no <i>software</i> AutoCAD.	36
Figura 34: Modelagem das edificações no <i>software</i> Sketchup.....	36
Figura 35: Corte a laser das peças em MDF.....	37
Figura 36: Modelos reduzidos utilizados nos Ensaios.....	37
Figura 37: Malha perfurada para simulação de venezianas.	38
Figura 38: Sensor de temperatura Ds18b20.	39
Figura 39: Distribuição dos sensores na edificação de um pavimento.....	40
Figura 40: Distribuição dos sensores na edificação de dois pavimentos.....	40
Figura 41: Túnel de Vento do Laboratório de Mecânica dos Fluidos.	41
Figura 42: Sensores de temperatura instalados no modelo reduzido.	42
Figura 43: Sequência do ensaio em túnel de vento - Modelo de um pavimento. ..	43
Figura 44: Sequência do ensaio em túnel de vento - Modelo de dois pavimentos.	43
Figura 45: Esquema da análise de eficiência na utilização de torre de vento.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumo de energia elétrica em 2017, em GWh.....	5
Tabela 2: Necessidade de ventilação natural em cidades brasileiras.	12
Tabela 3: Dimensões das torres de vento projetadas.	35
Tabela 4: Dados climáticos do dia 13/10/2018.....	38
Tabela 5: Temperaturas para velocidade do vento igual a 2m/s – Casa Térrea...	44
Tabela 6: Temperaturas para velocidade do vento igual a 4m/s – Casa Térrea...	45
Tabela 7: Temperaturas para velocidade do vento igual a 7m/s – Casa Térrea...	46
Tabela 8: Temperaturas para velocidade do vento igual a 2m/s – Casa de 2 pavimentos.....	47
Tabela 9: Temperaturas para velocidade do vento igual a 4m/s – Casa de 2 pavimentos.....	48
Tabela 10: Temperaturas para velocidade do vento igual a 7m/s – Casa de 2 pavimentos.....	48
Tabela 11: Dias mais quentes do periodo 2017-2018.....	58

LISTA DE SIGLAS

AIE – Agência Internacional de Energia

CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

PPP – Parceria Público-Privada

SEDF – Secretaria de Economia do Distrito Federal

SEDUH – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO DA PESQUISA

A preocupação em projetar residências que proporcionem conforto térmico e que, ao mesmo tempo, diminuam o impacto no meio ambiente vem crescendo cada vez mais, principalmente devido ao atual cenário ambiental em que vivemos.

O consumo anual de energia elétrica no Brasil é de 555 TWh (Terawatt-hora), com crescimento médio, nos últimos dez anos, de 4% ao ano (QUEIROZ, 2014). Pesquisas recentes realizadas pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) indicam que o Brasil está entre os dez maiores consumidores de energia elétrica do mundo, sendo as regiões sul e centro oeste as líderes de crescimento de consumo. Tais dados indicam o alto nível de demanda e a necessidade cada vez maior de novos estudos e investimentos para garantir a segurança energética do país.

Buscar meios convencionais de energia limpa para condicionar edificações é uma das formas de contribuir para a diminuição do consumo de energia elétrica. Porém, ao longo de todo o território brasileiro é possível identificar uma grande variedade climática. Em virtude disso, encontrar soluções construtivas que sejam únicas e, ao mesmo tempo, que atendam de forma eficiente a questão de conforto térmico é ainda mais difícil.

No Brasil, alguns dos maiores exemplos de edificações que utilizam estratégias de ventilação natural para o conforto térmico de seus usuários são os hospitais da Rede Sarah Kubitschek, desenvolvidos pelo arquiteto João Filgueiras Lima, mais conhecido como Lelé.

Durante a maior parte de sua carreira, Lelé se dedicou a propor projetos ambientes mais naturais e com técnicas construtivas mais baratas, rápidas e eficientes. Nos hospitais da rede Sarah, Lelé passou a utilizar galerias de tubulações subterrâneas para conduzir ar fresco para o interior, direcionando o ar quente por saídas através de telhado do tipo shed (NUNES, 2014).

Além das soluções propostas por Lelé, destaca-se também o uso de torres de vento para obtenção de ventilação natural. As torres de vento foram muito utilizadas na arquitetura persa e árabe e ainda hoje são alternativas muito utilizadas,

mesmo que reinterpretadas, por promoverem renovação do ar e manterem bons níveis de conforto térmico.

Visando à análise de alternativas sustentáveis para a substituição de sistemas mecânicos de condicionamento de ar, o presente trabalho buscou avaliar o funcionamento e a eficácia de torres de vento, a partir de ensaios em túnel de vento utilizando sensores de Arduino.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o desempenho térmico e a eficiência da utilização de torres de vento em uma residência localizada no Setor Habitacional Jardins Mangueiral, no Distrito Federal, comparando o benefício desta solução com a utilização de aparelhos de condicionamento de ar.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Destacar a importância da utilização de alternativas de ventilação natural para obter conforto térmico e consequentemente reduzir o consumo de energia elétrica das edificações.
- Demonstrar o funcionamento do sistema de torres de vento, desde sua concepção até sua utilização atualmente.
- Identificar as metodologias necessárias para a realização de ensaios em túnel de vento com modelos reduzidos reproduzidos em MDF.
- Programar sensores de Arduino para a determinação dos parâmetros de conforto térmico de uma edificação.
- Comparar a eficiência de torres de vento com aparelhos de ar condicionado em uma residência localizada no Distrito Federal.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Após a contextualização, motivação do estudo e apresentação dos objetivos expostos neste primeiro capítulo, o capítulo 2 seguirá apresentando uma discussão teórica a respeito da importância de utilizar soluções sustentáveis para condicionamento de ambientes.

Será abordada, inicialmente, a necessidade de se buscar alternativas aos sistemas mecânicos de condicionamento, contextualizando conceitos de eficiência energética atrelados ao conforto térmico. Em seguida, serão apresentadas as principais soluções do arquiteto João Filgueiras Lima. Serão abordados ainda, os princípios de outros sistemas possíveis de ventilação natural, com ênfase no sistema de torres de vento, abordando seu histórico e funcionamento.

No capítulo 3, será detalhado o local escolhido para a análise deste estudo. Serão descritas as condições climáticas e as características construtivas da edificação, abordando as possíveis interferências e pontos a serem levados em consideração.

O capítulo 4 tratará da metodologia a ser utilizada para chegar aos resultados desejados, a partir da descrição do processo de obtenção do modelo reduzido, da determinação dos parâmetros de ensaio e do detalhamento do ensaio em túnel de vento.

Os resultados obtidos nos ensaios serão apresentados no capítulo 5, bem como suas análises. Assim, será possível comparar os modelos e definir a aplicabilidade de cada um, além de obter as características mais propícias à aplicação do sistema de torres de vento.

Por fim, no capítulo 6, serão apresentadas as considerações finais do estudo realizado. Será abordado o alcance aos objetivos propostos e serão apresentadas as sugestões para futuros desenvolvimentos da pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A preocupação com as constantes alterações no cenário climático no mundo vem provocando o desenvolvimento de recursos e pesquisas no setor da construção civil no sentido de reduzir impactos ambientais a partir do aproveitamento dos recursos naturais disponíveis, buscando ações que proporcionem melhoria do conforto térmico nos ambientes construídos (FONSECA *et al.*, 2010).

Assim, ao passar do tempo foi sendo desenvolvido ainda mais o conceito de eficiência energética atrelado ao conforto ambiental. A eficiência energética visa à redução do consumo de energia, de modo que o uso desta seja feito de forma racional. Para Lamberts *et al.* (2014), no contexto da construção civil, a eficiência energética se dá quando um edifício consegue oferecer as mesmas condições ambientais e com um menor consumo energético do que outra construção que necessita de altos níveis de consumo.

A análise de parâmetros de conforto térmico e a eficiência energética em edificações pode ser realizada por meio de diferentes soluções arquitetônicas e utilizando diferentes metodologias de ensaios. A seguir, serão apresentadas as bases teóricas de estudo para a determinação da eficiência de um dos sistemas que buscam melhorar as condições de ventilação natural de edificações.

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil é um dos setores que mais consome energia elétrica no mundo, sendo responsável por quase metade do total de quilowatts produzidos no planeta, de acordo com a Agência Internacional de Energia. No Brasil, cerca de 29% da energia elétrica é consumida apenas pelo setor residencial (Tabela 1) e, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética, a taxa de crescimento desse consumo é de 4% ao ano.

Tabela 1: Consumo de energia elétrica em 2017, em GWh.

	2013	2014	2015	2016	2017	$\Delta\%$ (2017/2016)	Part. % (2017)
Brasil	463.142	474.823	465.708	461.780	467.161	1,2	100
Residencial	124.908	132.302	131.190	132.872	134.368	1,1	28,8
Industrial	184.685	179.106	169.289	165.314	167.398	1,3	35,8
Comercial	83.704	89.840	90.768	87.873	88.292	0,5	18,9
Rural	23.455	25.671	25.899	27.266	28.136	3,2	6,0
Poder público	14.653	15.355	15.196	15.096	15.052	-0,3	3,2
Iluminação pública	13.512	14.043	15.333	15.035	15.443	2,7	3,3
Serviço público	14.847	15.242	14.730	14.969	15.196	1,5	3,3
Próprio	3.379	3.265	3.304	3.355	3.277	-2,3	0,7

Fonte: EPE, 2018.

Segundo Moura e Motta (2013), a matriz energética brasileira, apesar de apresentar certo desenvolvimento na base hidráulica e de biomassa, ainda possui sua base principal em combustíveis fósseis, principalmente o petróleo. Assim, o progressivo aumento no consumo de energia elétrica desencadeia uma série de impactos negativos ao meio ambiente, tais como: emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera, modificação do ecossistema e elevação dos níveis de poluição.

Com o atual cenário mundial em relação a problemas ambientais como os altos índices de poluição causados por fontes de energia como o petróleo, a necessidade de reduzir os indicadores de consumo de energia elétrica passa a ser ainda mais importante. Inserir os conceitos de sustentabilidade e eficiência energética na construção civil passou a ser um grande e importante desafio.

A eficiência energética visa à redução do consumo de energia, de modo que o uso desta seja feito de forma racional. Para Lamberts *et al.* (2014), no contexto da construção civil, a eficiência energética se dá quando um edifício consegue oferecer as mesmas condições ambientais, mas com um menor consumo energético que outra construção que necessita de altos níveis de consumo.

Desde a fase do projeto arquitetônico de uma edificação até a fase de seu uso, é possível desenvolver uma série de soluções que tornem o processo construtivo mais eficiente e sustentável. O reaproveitamento de recursos, a utilização de materiais renováveis e o uso de combustíveis com baixos níveis de emissões são algumas soluções que podem ser implementadas durante a construção e o gerenciamento de uma edificação (ABREU, 2012).

Mas não é apenas durante o processo construtivo que se faz necessária a busca por eficiência energética. O uso das edificações também gera grande

consumo de energia: em média, o consumo por residência alcança 157kWh/mês. Se levarmos em conta a quantidade de edificações existentes, o consumo de energia aumenta exponencialmente.

Além da economia energética, é possível alcançar bons índices de economia financeira. De acordo com Takaoaka, presidente do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), mesmo que seja necessário um custo adicional de 2% a 3% em obras para a obtenção de tecnologias sustentáveis, esse valor é rapidamente recuperado devido ao baixo custo de manutenção e aos menores gastos operacionais (ÂNGELO, 2009).

A adequação de uma edificação com o clima pode estar relacionada diretamente com a racionalização do uso de energia. Evitando e reduzindo o uso de sistemas de condicionamento artificial de ar, é possível tanto refrigerar quanto aquecer ambientes (LAMBERTS *et al*, 2016).

Assim, o estudo a respeito da utilização eficiente de edificações passou a ser bastante desenvolvido. Propostas como a utilização de ventilação e iluminação naturais passaram a ser, além de soluções de eficiência energética, formas de economia financeira para o usuário.

2.2 CONFORTO TÉRMICO

Encontrar soluções sustentáveis para a substituição de sistemas elétricos residenciais requer não apenas a adequação às normas construtivas quanto a obtenção de níveis satisfatórios de conforto térmico para o usuário da edificação.

O conceito de conforto térmico é muitas vezes entendido como um conceito subjetivo devido ao fato de estar ligado às sensações humanas, isso faz com que seu entendimento não seja dependente apenas de fatores físicos, mas também de fatores fisiológicos e até mesmo psicológicos. Como definição geral, o conforto térmico é alcançado quando o balanço térmico do corpo humano é estável, sem demonstrar qualquer sensação de desconforto pelo calor ou frio, de forma que haja equilíbrio entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente. (LAMBERTS *et al*, 2016).

Segundo Frota e Schiffer (2016) para estabelecer parâmetros de conforto térmico é preciso analisar tanto variáveis climáticas, quanto as temperaturas das

superfícies presentes no ambiente e as atividades desenvolvidas pelas pessoas. Dentre as variáveis climáticas pode-se citar a temperatura do ar, que é considerada a principal variável do conforto térmico, a velocidade e a umidade relativa do ar. Quanto às atividades desenvolvidas pelas pessoas, pode-se considerar tanto o metabolismo gerado pela atividade realizada, quanto a resistência térmica que a vestimenta da pessoa gera.

Para alcançar bons índices de conforto térmico em ambientes e ao mesmo tempo racionalizar o uso de energia é possível utilizar controles térmicos naturais que “propiciam a redução do excesso de calor resultante no interior dos edifícios, minimizando, por vezes, os efeitos de climas excessivamente quentes” (FROTA E SCHIFFER, 2016). Tais controles térmicos podem ser obtidos adequando a arquitetura da edificação, posicionando ambientes ou utilizando soluções de ventilação natural a partir de estudos do fluxo de vento, da geometria solar e dos dados climáticos da região.

2.3 VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação, quando ocorre com a troca de ar dentro do ambiente e quando ocorre por meios naturais, é denominada ventilação natural. Segundo Mazon (2005), ventilar um ambiente de forma adequada requer que o ar seja fornecido ou retirado de forma a satisfazer às exigências humanas no que se refere ao conforto térmico.

A substituição de sistemas de ventilação mecânica por ventilação natural contribui para a diminuição de índices de poluição atmosférica e aquecimento global, uma vez que a ventilação mecânica em edificações consome quantidade significativa de energia no mundo.

Outra vantagem na utilização da ventilação natural é a obtenção de áreas maiores nas edificações, visto que plantas de ventilação mecânica podem ocupar de 4% a 7% da área de piso do edifício (MAZON, 2005). Além disso, reduzindo ou eliminando a necessidade de ventilação mecânica, a execução e manutenção da edificação passam a ter um custo inferior com sistemas de ventilação natural.

A ventilação natural, além de contribuir para a eficiência energética de uma edificação, é uma alternativa adequada para a manutenção da qualidade do ar em

ambientes internos. Essa ventilação é capaz de manter o ambiente livre de impurezas, remover o excesso de calor acumulado no interior das edificações, facilitar as trocas térmicas do corpo humano com o meio ambiente e remover o excesso de vapor d'água existente no ar interno evitando a condensação superficial (LAMBERTS *et al.*, 2016).

De acordo com os estudos realizados por Lamberts *et al* (2014), “a ventilação natural é eficaz entre temperaturas de 20°C a 32°C, pois a partir daí os ganhos térmicos por convecção funcionariam mais como aquecimento do ambiente que como resfriamento”. No Brasil, a maior parte do território é coberto pelo clima quente e úmido, assim, a utilização da ventilação natural mostra-se bastante eficiente, ainda mais quando é associada à proteção solar (LÔBO E BITTENCOURT, 2003).

2.3.1 Mecanismos de ventilação natural

A circulação de ar em edificações relaciona-se às diferentes variáveis e as leis de física. Para ocorrer a movimentação de ar em um ambiente é preciso existir uma diferença de pressão e um caminho para que o ar se movimente. A ventilação natural pode ocorrer por duas maneiras: por diferença de temperatura e por diferença de pressão causada pelo vento.

A ventilação natural por diferença de temperatura baseia-se no deslocamento da massa de ar da zona de maior pressão para a de menor pressão originadas das diferenças de temperaturas do ar interno e externo. Tal efeito, também conhecido como “efeito chaminé”, funciona com o ar mais frio e denso exercendo pressão positiva na edificação e o ar mais quente e menos denso tende a exercer baixa pressão e a subir, criando correntes de convecção (VENTILAÇÃO...,2018), como pode ser visto na Figura 1.

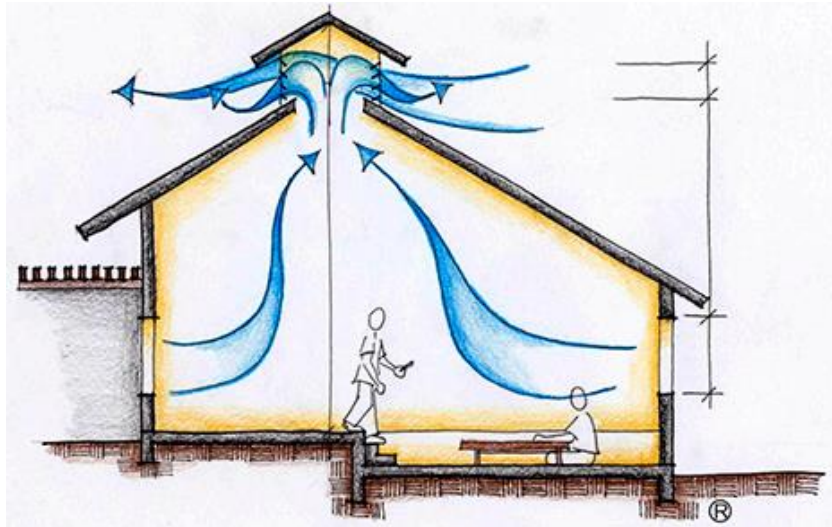


Figura 1: Efeito Chaminé.
Fonte: Projeteee, 2018.

O efeito chaminé é uma alternativa de ventilação natural para climas e períodos em que não há presença constante de vento. As áreas abertas da estrutura permitem que o ar circule pelo ambiente e saia pela cobertura por meio de exaustores eólicos (Figura 2), lanternins (Figura 3) ou aberturas zenitais (PEREIRA, 2018).



Figura 2: Exaustores eólicos.
Fonte: GLOBO AR, 2012.

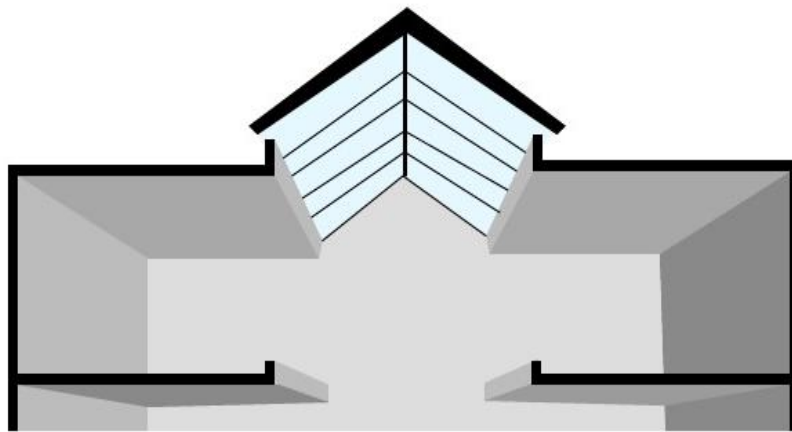


Figura 3: Lanternins
Fonte: Uol, 2015.

Já a ventilação natural por diferença de pressão, ou ventilação cruzada, ocorre devido à incidência do vento em uma edificação, que distribui pressões estáticas em suas superfícies externas, formando uma zona de pressão positiva na face incidente e, na face oposta, uma zona de pressão negativa (SORGATO, 2009). Essa diferença de pressão promove a movimentação do ar através do ambiente, conforme pode ser observado na Figura 4.

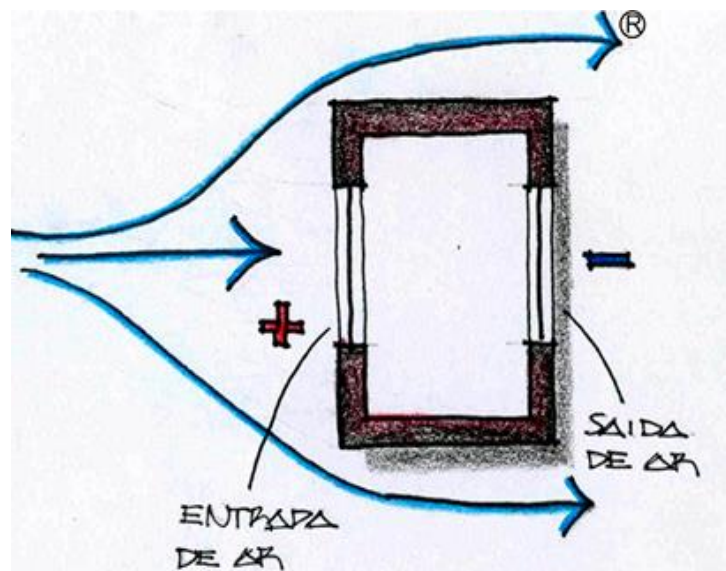


Figura 4: Ventilação Cruzada Horizontal.
Fonte: Projeteeee, 2018

A ventilação cruzada é indicada para regiões com temperaturas mais elevadas. Normalmente, as aberturas são dispostas em paredes opostas ou adjacentes para permitir a saída de ar, gerando as trocas constantes do ar dentro

do ambiente. Quanto maior for a diferença de pressão provocada pelo vento, maior será o volume do fluxo de ar e a velocidade do ar é maior quando as aberturas de saída, com pressão negativa, são maiores que as aberturas de entrada com pressão positiva.

De acordo com esses dois princípios de funcionamento, a ventilação natural pode ser aplicada de diferentes maneiras, como a utilização de torres de resfriamento evaporativo, galerias de ventilação natural e torres de vento, sendo esta última, objeto de estudo deste trabalho e que será detalhada no item 2.4.

2.3.2 Aplicação da ventilação natural no Brasil: arquiteto Lelé

O clima tropical é o clima predominante no território brasileiro e possui características importantes que favorecem o uso de ventilação natural, como as elevadas temperaturas, e períodos de chuvas abundantes e concentradas na estação das chuvas (POLON, 2014). O clima quente e úmido caracteriza-se por apresentar pequenas oscilações das temperaturas diárias e sazonais, além de apresentar alto nível de umidade relativa do ar. Com isso, a ventilação natural pode ser usada para resfriar as edificações aquecidas pela radiação solar e por ganhos internos de calor, onde altas taxas de ventilação podem fazer com que a temperatura interna se aproxime da externa (LÔBO E BITTENCOURT, 2003).

De acordo com estudos realizados por Lamberts *et al.* (2014), verificou-se de fato que a maioria das capitais brasileiras necessitam de ventilação natural como principal estratégia, não apenas no verão como também ao longo do ano inteiro, conforme se pode observar na Tabela 2.

Tabela 2: Necessidade de ventilação natural em cidades brasileiras.

Cidade	Necessidade de ventilação natural (% das horas do ANO)	Necessidade de ventilação natural (% das horas de VERÃO)
Belém	88,8	93,1
Brasília	17,3	36,3
Curitiba	6,8	19,9
Florianópolis	36,4	77,1
Fortaleza	85,5	92,3
São Luís	86,7	86,5
Maceió	76,4	84,9
Natal	84,2	88,7
Porto Alegre	23,3	59,0
Recife	67,8	76,2
Rio de Janeiro	60,9	78,0
Salvador	57,9	80,6
São Paulo	14,3	45,2
Vitória	60,9	87,4

Fonte: LAMBERTS, DUARTE, PEREIRA, 2014, adaptada pela autora, 2018.

No Brasil, a utilização de ventilação natural em edificações passou a se destacar com o arquiteto João Filgueiras Lima, também conhecido pelo nome Lelé. Lelé, formado em arquitetura e urbanismo pela antiga Universidade do Brasil e atual Universidade Federal do Rio de Janeiro, obteve destaque inicial em sua carreira ao ser contratado como engenheiro de obra para a construção de Brasília.

No Brasil, o arquiteto João Filgueiras Lima, Lelé, é muito conhecido por utilizar, em suas obras, estratégias de ventilação e iluminação naturais. Ele integra princípios funcionais, econômicos, e ambientais, alcançando não apenas um menor gasto com energia elétrica, como também espaços mais agradáveis, menos herméticos e, conseqüentemente, humanizados. (LUKIANCHUKI, 2010, p.37).

Um dos destaques das produções arquitetônicas de Lelé são os hospitais da Rede Sarah Kubitschek, em que a ventilação natural foi considerada como principal aspecto para a concepção dos projetos. Algumas das soluções de ventilação natural utilizadas por ele foram a utilização de galerias de vento para obter resfriamento evaporativo, a utilização de forros basculantes e coberturas do tipo *shed*.

No hospital Sarah de Salvador (Figura 5), Lelé utilizou as galerias de manutenção de instalações para servir também como dutos de ventilação, capitando o ar por aberturas localizadas ao nível dos lagos dispostos ao longo dos edifícios. Desta forma, o ar canalizado cria um diferencial de pressão, favorecendo a ventilação vertical, de forma que o ar frio passe pelas galerias e seja extraído pelos *sheds* da cobertura, como pode ser observado na Figura 6.



Figura 5: Hospital Sarah – Salvador.
Fonte: LUKIANTCHUKI, 2010.

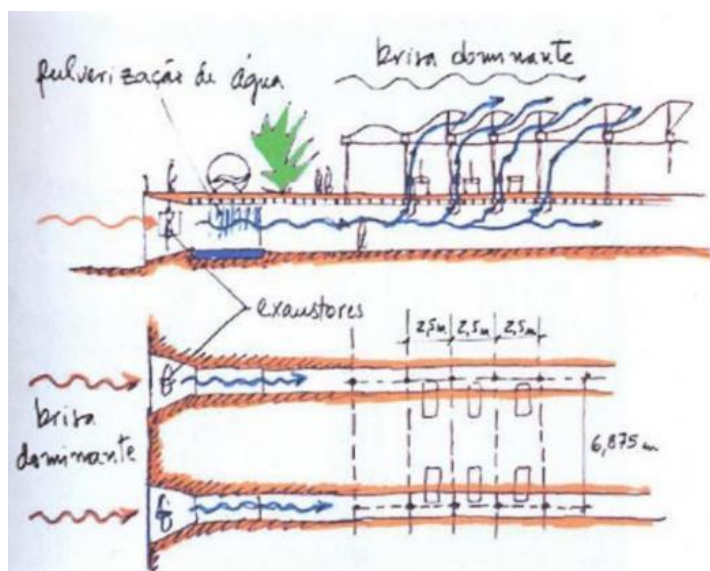


Figura 6: Sistema de ventilação do Hospital Sarah – Salvador.
Fonte: LATORRACA, 1999.

Segundo Lukiantchuki (2010), o resfriamento evaporativo através das galerias de ventilação ocorre devido um sistema de nebulização de água instalado nas galerias, que pulveriza a água gerando a diminuição da temperatura do ar e filtrando partículas de poeira presentes no ar que vem do exterior.

Já o sistema de forro basculante utilizado no hospital Sarah do Rio de Janeiro (Figura 7) foi uma alteração feita por Lelé nos sistemas de *shed* já utilizados em seus projetos anteriores. A geometria da cobertura em *shed* foi projetada especificamente para garantir o conforto térmico naturalmente, de modo que fosse possível orientá-los, garantindo que o ambiente recebesse luz solar e ventilação (Figura 8).



Figura 7: Hospital Sarah - Rio de Janeiro.
Fonte: LUKIANTCHUKI, 2010.



Figura 8: Forro basculante do Hospital Sarah - Rio de Janeiro.
Fonte: LUKIANTCHUKI, 2010.

Com a inserção do forro basculante na cobertura, a ventilação natural do ambiente passa a ser mais eficiente tendo em vista o aumento de área para passagem de ventilação e a proteção e sombreamento que a cobertura em *shed* proporciona.

2.4 TORRES DE VENTO

A utilização de torres de vento (Figura 9) é uma alternativa para a obtenção de conforto térmico em edificações por meio de ventilação natural as quais podem funcionar tanto como captadoras quanto extratoras de ar, promovendo a renovação do ar e conforto higrotérmico do ambiente.

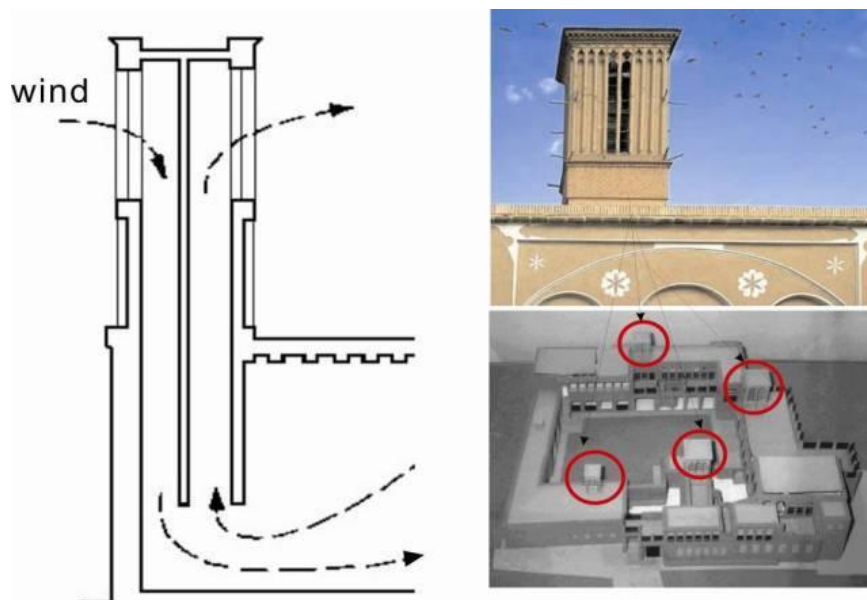


Figura 9: Torre de vento.
Fonte: CASA SOLARE, 2016.

As de torres de vento são muito utilizadas em cidades com climas quentes, em que o conforto térmico se relaciona com o movimento do ar e a massa edificada constituída por uma elevada rugosidade, fazendo com que a velocidade do vento seja reduzida no nível da rua onde se encontram as aberturas inferiores (FATHY,1986).

2.4.1 Histórico

Nos tempos antigos, devido à inexistência de equipamentos de condicionamento de ambientes, utilizava-se de soluções arquitetônicas naturais para satisfazer as condições internas das edificações. As *Bâdgirs*, como são chamadas as torres de vento em persa, eram as estruturas mais utilizadas para o resfriamento interno das residências nas regiões desérticas do Irã. (A'ZAMI, 2005).

A utilização de torres de vento ocorre desde a antiguidade nos países do Oriente Médio influenciados pelos persas, como um dispositivo arquitetônico que proporciona conforto térmico para diferentes tipos de clima.

Acredita-se que é um dispositivo tradicionalmente persa, que foi usado por muitos séculos, mas há evidências de que a torre de vento remonta aos primeiros períodos faraônicos. Exemplos podem ser encontrados nas casas da Décima Oitava Dinastia de Tal Al-Amarna. (EL-SHORBAGY, 2010, p. 01, tradução nossa).

Uma pintura encontrada no túmulo do Faraó Neb-Amon (Figura 10), da dinastia XIX (1300 a.C.), exibindo a arquitetura de sua casa, retrata como o conceito das torres de vento já era utilizado. A pintura apresenta a casa do faraó, em que é possível observar duas aberturas para resfriamento interno, sendo uma abertura voltada para a captação do ar frio para dentro do ambiente e a segunda libera o ar quente por sucção. (EL-SHORBAGY, 2010).

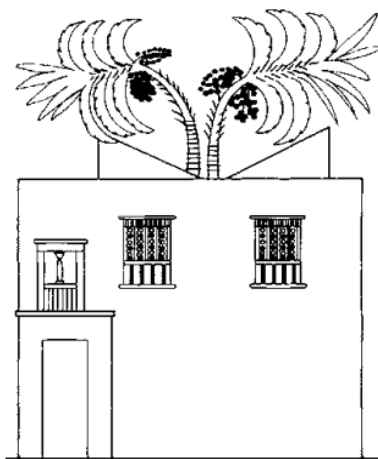


Figura 10: Casa do Faraó Neb-Amun.
Fonte: EL-SHORBAGY, 2010.

As torres de vento foram construídas em muitas regiões do Irã, devido ao clima quente e árido. A cidade de Yazd, no Irã, também é conhecida como a cidade das torres de vento exatamente por possuir grande quantidade de edificações com essa estrutura, como pode ser visto na Figura 11.

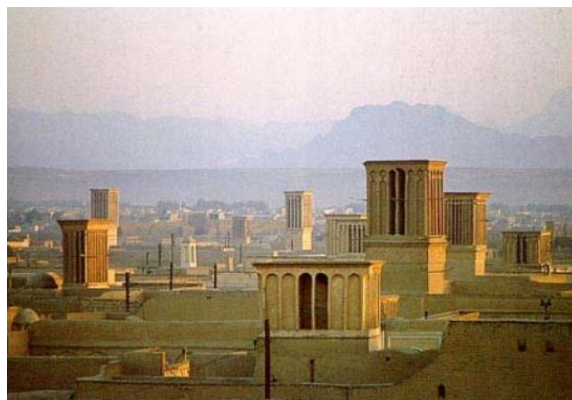


Figura 11: Cidade de Yazd, Irã.
Fonte: EL-SHORBAGY, 2010.

Com a influência persa, as torres de vento passaram a ser difundidas e encontradas na arquitetura do Oriente Médio, Paquistão e Índia. Ao longo do tempo, com o desenvolvimento do estudo dessas estruturas, algumas edificações por todo o mundo aderiram às torres de vento.

Atualmente, com a crescente preocupação em se obter eficiência energética em edificações, as torres de vento voltaram às atenções de arquitetos ocidentais, utilizando dos tradicionais conceitos arquitetônicos árabes para empregar em seus modernos edifícios, como no Centro de Visitantes do Parque Nacional de Zion nos Estados Unidos (Figura 12).

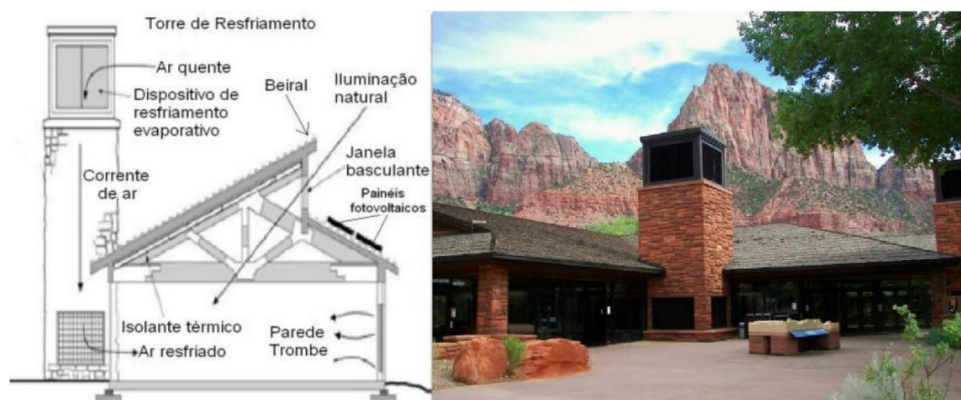


Figura 12: Parque Nacional de Zion, Sringdale, EUA.
Fonte: EL-SHORBAGY, 2010; adaptada, 2018.

No Brasil, a utilização e conceito de funcionamento das torres de vento não são muito difundidos. Apesar da necessidade de soluções como essa e o país possuir clima favorável para seu funcionamento, o pouco conhecimento científico por parte dos projetistas dificulta a propagação dessa alternativa (LÔBO E BITTENCOURT, 2003).

2.4.2 Funcionamento

As torres de vento, são captadores e extratores de vento que permitem a entrada de ar frio para o interior de edificações e liberam o ar quente para seu exterior. De acordo com A'zami (2005), existem dois mecanismos principais de funcionamento dessas estruturas: a ventilação por meio de diferença de temperatura e ventilação por meio da diferença de pressão existente nas aberturas.

A ventilação por meio da diferença de pressão (Figura 13) ocorre devido a associação das pressões positivas e negativas que ocorrem na edificação. De acordo com o posicionamento da torre, uma face irá ter incidência solar, enquanto sua face oposta necessariamente estará à sombra. Na face em que houver sombreamento o ar captado será mais fresco e, sendo mais pesado, é direcionado para o interior do ambiente pressionando o ar quente, e mais leve, para a abertura que é voltada para o sol.

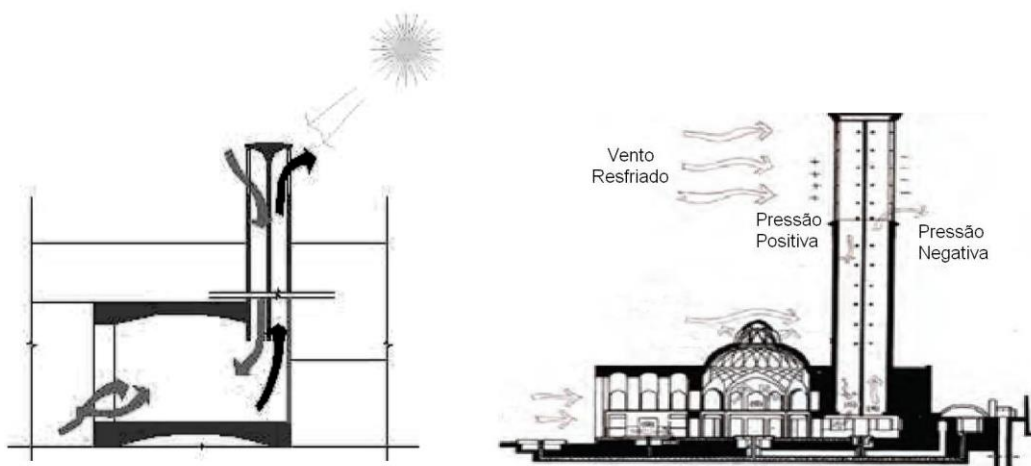


Figura 13: Ventilação por diferença de pressão.
Fonte: ANDRADE, 2013; A'ZAMI, 2005.

Quando não há incidência muito forte de corrente de vento, as torres de vento podem funcionar por meio da diferença de temperatura. Analisando a Figura 14,

durante o dia, ao ocorrer incidência solar na face direita da edificação, o ar proveniente das janelas aquece e sobe, no lado oposto, sem a incidência solar, o ar que entra pela abertura da torre de vento estará mais fresco, formando espécie de vácuo na região da torre, levando o ar frio que entra na abertura esquerda da torre de vento para baixo.

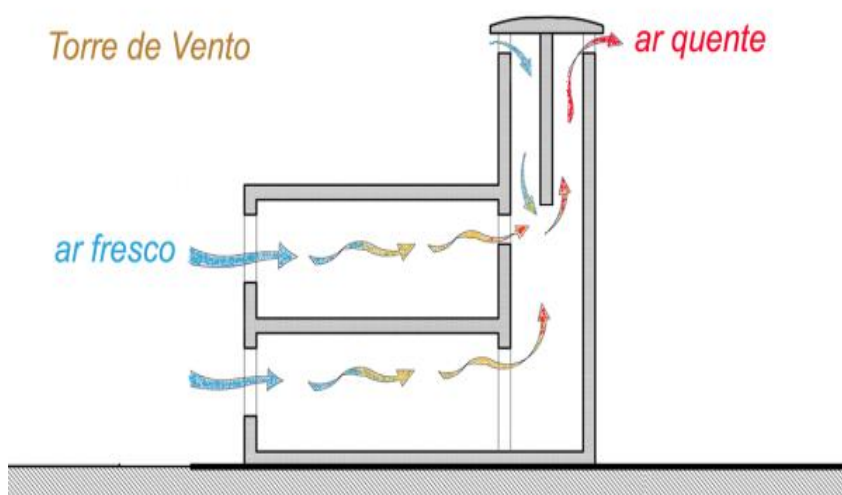


Figura 14: Ventilação por diferença de temperatura.
Fonte: NUNES, 2014.

De toda forma, é preciso projetar a torre de vento de acordo com a variação predominante de direção do vento na região. Se existir uma direção constante de vento no local, as aberturas da torre poderão ser dispostas perpendicularmente à direção dos ventos, mas, se o vento variar entre direções opostas será necessário adaptar a torre com aberturas opostas também. (TORRES..., 2018).

Apesar das grandes vantagens que as torres de vento proporcionam quanto às questões de conforto térmico e eficiência energética das edificações, elas apresentam algumas limitações e desvantagens. Dentre as desvantagens podemos citar a baixa eficiência de ventilação quando executadas em locais com ventos de baixa velocidade, a entrada de poeira e insetos pelas aberturas da torre e a dissipação de ar em caso de torres com mais de uma abertura. No entanto, existem maneiras de minimizar tais desvantagens utilizando estratégias atreladas à construção e estrutura das torres. (BAHADORI, 1985).

2.4.3 Estrutura

A estrutura de uma torre de vento (Figura 15) possui duas partes principais, sendo uma delas a parte superior da torre, onde é feita a captação do vento, e a outra, a coluna que vai do final da abertura da torre até o acesso da torre ao ambiente interno da edificação.

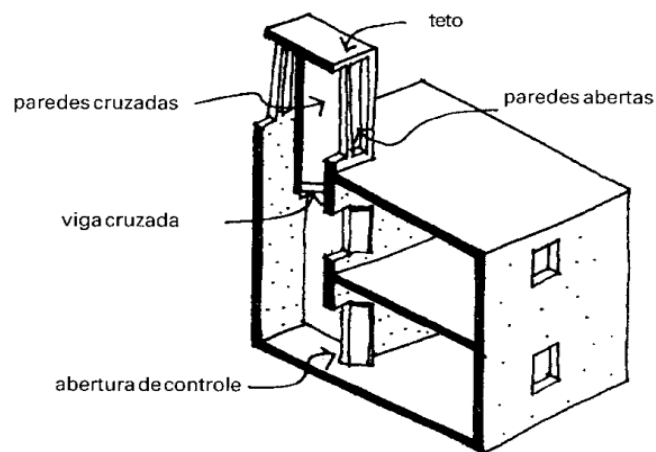


Figura 15: Vista em corte de uma residência com torre de vento.
Fonte: LENGEN, 2009

As aberturas presentes na parte superior da torre (Figura 16) são responsáveis por captar o vento para o interior. A depender da variação de direção do vento podem existir mais de uma abertura na torre, sendo mais comum a utilização de torres com aberturas bidirecionais e tetradirecionais, mas também é possível construir torres com aberturas unidirecionais e octodirecionais.

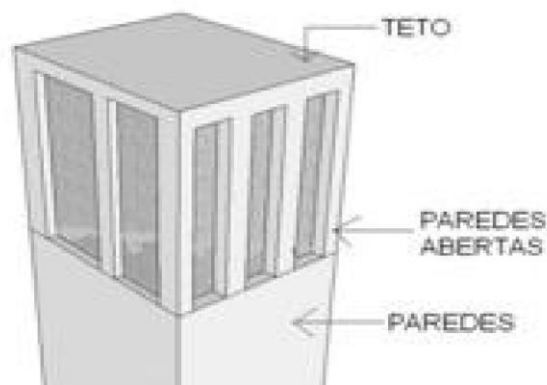


Figura 16: Parte superior da torre de vento.
Fonte: LENGEN, 2009

A torres com aberturas bidirecionais são mais utilizadas em edificações de pequenas dimensões, já as torres com aberturas tetradirecionais são mais utilizadas por proporcionarem a captação de vento em várias direções. Para evitar que o vento cruze o coletor diretamente pelas aberturas é preciso colocar separações verticais no interior da torre junto ao teto, tais separações devem descer até o nível das aberturas de saída (TORRES..., 2018).

As dimensões das aberturas da torre podem ser menores do que as janelas do nível térreo, uma vez que a velocidade do vento aumenta com a altura acima do solo, logo, no topo da torre, a velocidade dos ventos será significativamente maior do que a velocidade incidente nas janelas térreas.

A coluna da torre que vem abaixo das aberturas funciona como armazenamento de energia e canal resfriador. Segundo Badran (2003), para climas muito quentes, a altura da torre pode ser menor que nove metros para se obter um fluxo de ar adequado. De modo geral, as torres de vento são feitas de blocos e suas alturas variam de trinta centímetros à cinco metros acima da cobertura, sendo que a maior torre de vento do mundo possui 33 metros de altura e está localizada no pavilhão do Jardim de Dawlatâbâd na cidade de Yazd (Figura 17).



Figura 17: Torre de vento do Jardim Dowlatabad, em Yazd.
Fonte: ELIAS, 2015.

Para evitar a entrada de insetos pelas aberturas, é recomendável instalar redes ou telas. Já para o caso de chuvas, pode-se optar pela instalação de um

sistema de coleta de água para ser reutilizada, contribuindo com a refrigeração do ambiente, ou realizar a instalação de *damper*, que tem seu funcionamento baseado na incidência do ar e por gravidade.

2.5 ENSAIO EM TÚNEL DE VENTO

Durante muito tempo os estudos acerca da aerodinâmica mantiveram-se voltados exclusivamente à construção aeronáutica. De acordo com Blessmann (1967), o tal fato ocorreu em partes pelo desconhecimento de suas diversas aplicações como na construção civil, mecânica, elétrica, de minas e na indústria química.

Em 1948, o físico Theodore von Kármán classificou algumas aplicações da aerodinâmica que não voltadas à construção aeronáutica (KÁRMÁN, 1948). Dentre elas, citou o estudo da resistência do ar sobre veículos, os esforços sobre construções, a erosão do vento e a ventilação de ambientes internos de construções.

Ensaio relativos à modelos de construções civis passaram a ser realizados apenas no fim do século XIX, utilizando pequenos modelos como cubos, pirâmides, cilindros e torres para medir esforços totais sobre os modelos com o auxílio de um soprador de 30,5 x 30,5 cm de seção (PIANCA *et al.*, 1967).

A partir desses estudos pioneiros novas pesquisas passaram a ser desenvolvidas considerando diferentes situações, como o efeito de construções adjacentes, e diferentes parâmetros de medição, como pressões, velocidade do vento, deflexões de estruturas e conforto térmico de edificações.

A utilização de túneis de vento para estudos aerodinâmicos na construção civil começou a apresentar os primeiros resultados em 1914, pelo engenheiro Gustave Eiffel, na França. Em suas pesquisas, Eiffel ensaiou principalmente hangares de telhados angulosos, cursos e poligonais, com e sem lanternins (PIANCA *et al.*, 1967).

Devido sua versatilidade, a utilização de túneis de ventos passou a ser mais frequente em pesquisas envolvendo a aerodinâmica para diferentes áreas, desde aeronáutica, até a construção civil, arquitetura, engenharia automotiva, mecânica, dentre outras.

2.5.1 Funcionamento do Túnel de Vento

Os primeiros túneis de vento apresentavam apenas dutos com ventiladores em uma das extremidades, gerando correntes de ar irregulares. Buscando reduzir o consumo de energia e a produção de correntes de ar mais suaves, os túneis de vento foram desenvolvidos, passando a emitir uma corrente de ar de maneira regular e controlada, sob um modelo em escala reduzida, de modo que seja possível determinar diferentes variáveis e condições de escoamento (GORECK, 1988).

Os túneis de vento podem possuir formas e tamanhos distintos, a depender do tipo de análise que é requerida para os mesmos. Os túneis podem ainda ser classificados quanto ao tipo de circuito, podendo ser de circuito aberto ou circuito fechado.

Os túneis de vento de circuito aberto caracterizam-se por ter suas extremidades abertas para a atmosfera, de modo que o fluxo de ar seja puxado da atmosfera por uma extremidade e passe por todo o túnel até retornar à atmosfera pela outra extremidade (MATOS E ARARIPE, 2016). Tal configuração possui um custo mais baixo de construção e tamanho reduzido, por outro lado, são equipamentos mais barulhentos e demandam mais energia.

Os elementos construtivos que geralmente compõem os túneis de vento de circuito aberto são a câmara de estabilização, a seção de estabilização, a seção de teste, o difusor, ventilador e colmeia (Figura 18).

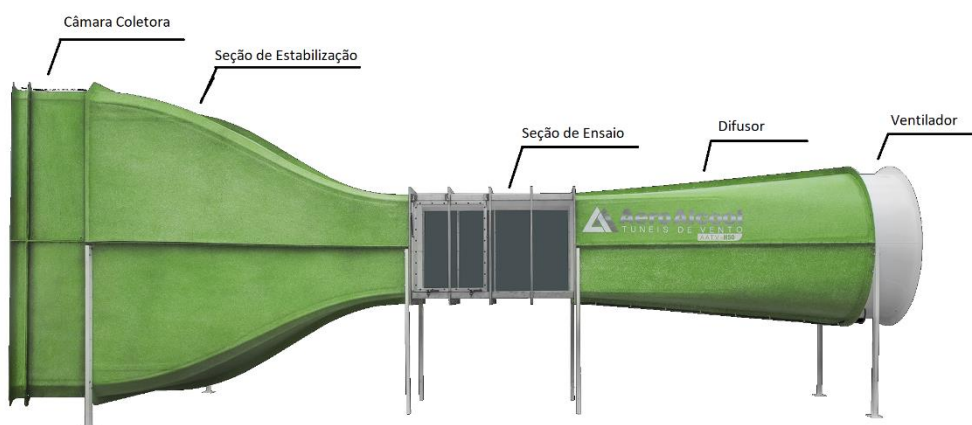


Figura 18: Túnel de vento de circuito aberto.
Fonte: AEROALCOOL, adaptada pela autora, 2019.

A câmara coletora capta o ar atmosférico para dentro do túnel e inicia a estabilização do fluxo de ar. A seção de estabilização transforma o fluxo turbulento de entrada em um fluxo laminar. A seção de testes é a região onde é posicionado o modelo reduzido a ser testado. O difusor realiza a conversão de energia cinética em energia de pressão. O ventilador ou exaustor é utilizado de acordo com a configuração do túnel, de modo que, com o auxílio de um motor, eles geram o deslocamento do ar. Por fim, a colmeia reduz o escoamento giratório e as variações laterais de velocidade do fluxo de ar, condicionando o escoamento de forma uniforme.

Nos túneis de vento de circuito fechado o fluxo de ar circula dentro do túnel de forma contínua por meio de dutos que redirecionam o escoamento que passou pela seção de teste para a entrada do sistema (Figura 19). Tal configuração reduz o consumo de energia elétrica comparado ao túnel de circuito aberto, além disso, ele melhora a qualidade do fluxo de ar, porém, apresenta alto custo e demanda grande espaço físico para sua construção (MEHTA E BRADSHAW, 1979).

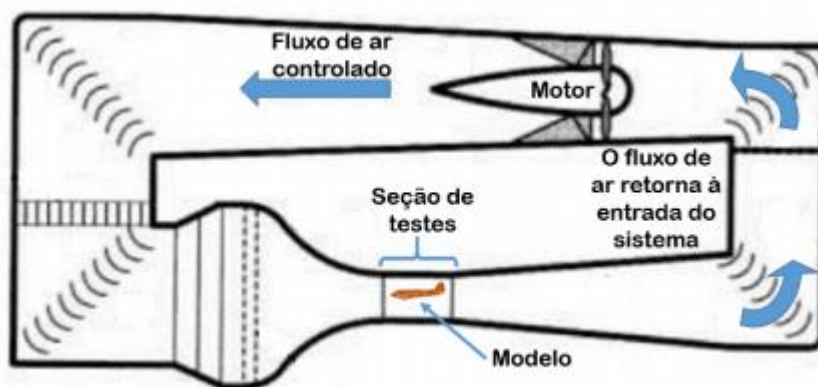


Figura 19: Túnel de vento de circuito fechado.

Fonte: BARLOW *et al*, 1999, adaptada por MATOS E ARARIPE, 2016.

A configuração do túnel de vento de circuito fechado reduz o consumo de energia elétrica, uma vez que o ar está circulando continuamente e o ventilador precisa suportar apenas algumas perdas ocasionais por meio das paredes e através de suas palhetas (HALL, 2015). Além disso, ele melhora a qualidade do fluxo de ar, porém, apresenta alto custo e demanda grande espaço físico para sua construção (MEHTA E BRADSHAW, 1979).

2.5.2 Túnel de Vento e Análise de Conforto Térmico

Uma maneira de analisar variáveis de conforto térmico de uma edificação é a utilização de ensaio em túnel de vento, em que podem ser realizadas simulações de condições de vento incidentes em um modelo reduzido e avaliar a variação de temperatura dos ambientes internos.

Por meio dos ensaios no túnel de vento é possível reproduzir, na seção de ensaio, condições semelhantes às que ocorrem no ambiente atmosférico. Além disso, os seus resultados podem demonstrar como as mudanças arquitetônicas das edificações podem influenciar na captação da ventilação natural (ANDRADE, 2013).

Para os resultados dos ensaios em túnel de vento em modelos reduzidos é possível desprezar os efeitos de escala. Segundo Blessmann (1967), os efeitos de escala dos modelos poderiam causar alterações nos resultados devido ao efeito do número de Reynolds e ao efeito dos detalhes de acabamento da superfície do modelo, porém, essas duas proposições não geram alterações significativas nos ensaios em modelos de arestas vivas.

A independência do escoamento em relação ao número de Reynolds em modelos de arestas vivas ocorre devido os modelos paralelepípedicos apresentarem fluxos definidos e mantém o campo de velocidade uniforme, o que não acontece para modelos com arestas orgânicas (arredondados ou afilados), devendo, nesse caso, levar em consideração a dependência do número de Reynolds e utilizar túneis de grande seção e velocidades elevadas (ANDRADE, 2013).

Assim, o estudo de variáveis de conforto térmico para edificações com forma de paralelepípedos utilizando túneis de vento são tecnicamente viáveis, podendo ser realizada a extrapolação dos resultados para a escala real do modelo construído.

2.6 ARDUINO

O Arduino é um sistema computacional capaz de programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele utilizando microcontroladores. (MCROBERTS, 2011).

O projeto Arduino foi criado em 2005 pelo professor Massimo Banzi no *Interaction Design Institute*, com o objetivo de utilizar tecnologia em projetos de design com linguagem mais simples, utilização fácil e de baixo custo. Desde então, o Arduino foi sendo desenvolvido e hoje sua versão mais recente, o Arduino UNO (Figura 20), se tornou padrão para projetos, devido ser uma placa mais versátil capaz de realizar projetos de diferentes áreas.

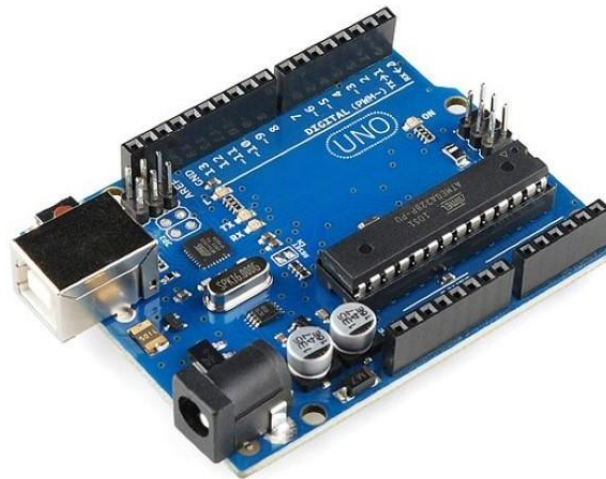


Figura 20: Arduino UNO.
Fonte: THOMSEN, 2015.

Por ser uma plataforma de prototipagem de código aberto, o Arduino é capaz de interagir com outros sistemas a partir da aquisição de variáveis físicas através de sensores. Seus códigos, projetos e esquemas podem ser utilizados livremente por qualquer pessoa, o que torna o sistema de baixo custo.

Os sensores conectados ao Arduino são dispositivos eletroeletrônicos que transformam em variações elétricas as variações de diferentes grandezas físicas como pressão, temperatura, umidade, velocidade do vento, distâncias, dentre outras (CASTRO, 2016)

3. REGIÃO DE ESTUDO

Os estudos de ventilação natural realizados neste trabalho foram desenvolvidos para uma edificação do Setor Habitacional Jardins Manguelral (Figura 21), localizado na Região Administrativa de São Sebastião, no Distrito Federal, situado no centro-oeste do Brasil, à 1.160 metros acima do nível do mar.



Figura 21: Região de Estudo.
Fonte: Google Maps, 2018.

De acordo com a Secretaria de Economia do Distrito Federal (SEDF), o Setor Jardins Manguelral é proveniente da primeira Parceria Público-Privada (PPP) habitacional do país, com estimativa de ocupação de 30 mil moradores nas oito mil unidades habitacionais construídas desde 2009.

O Jardins Manguelral faz parte do Programa Minha Casa, Minha Vida, do Governo Federal, voltado para pessoas com renda entre quatro e doze salários mínimos. Segunda a SEDF, as habitações são compostas por casas de dois e três quartos, além de apartamentos de dois quartos, distribuídas por 15 quadras (Figura 22), ocupando uma área de 200 hectares.



Figura 22: Distribuição dos condomínios no Setor Jardins Mangueiral.
Fonte: SEDUH, 2012

A escolha dessa região ocorreu devido ao padrão arquitetônico das edificações construídas, em que todas as residências possuem divisões internas semelhantes. Além disso, por fazer parte de um Programa do Governo Federal, os resultados do estudo podem ser aplicados não somente para a região especificada, mas também para futuras áreas de implantação do Programa, com seus respectivos ajustes a depender da escala de conforto térmico desejado, alcançando, assim, um significativo apelo social.

3.1 CLIMA DA REGIÃO

A maior parte do território brasileiro está localizado na zona intertropical do planeta, caracterizada por possuir a maior temperatura e pluviosidade da Terra. Devido à grande extensão do território nacional é possível identificar uma diversidade de climas, sendo predominante o clima tropical.

A região de estudo apresenta um clima tropical de altitude marcado por duas estações bem definidas: a seca, com baixos níveis de umidade relativa do ar e altas temperaturas; e a chuvosa, que mesmo elevando a umidade do ar, permanece com temperaturas altas.

Ao longo do ano, as temperaturas máximas em Brasília se aproximam do limite de conforto térmico, bem como as temperaturas mínimas (Figura 23). De acordo com a plataforma Projeteer, desenvolvida pelo PROCEL/Eletrobrás e a Universidade Federal de Santa Catarina, a aplicabilidade da utilização de ventilação

natural na região de estudo é em média de 22%, sendo mais eficiente nos períodos da tarde e da noite e na primavera e no verão.

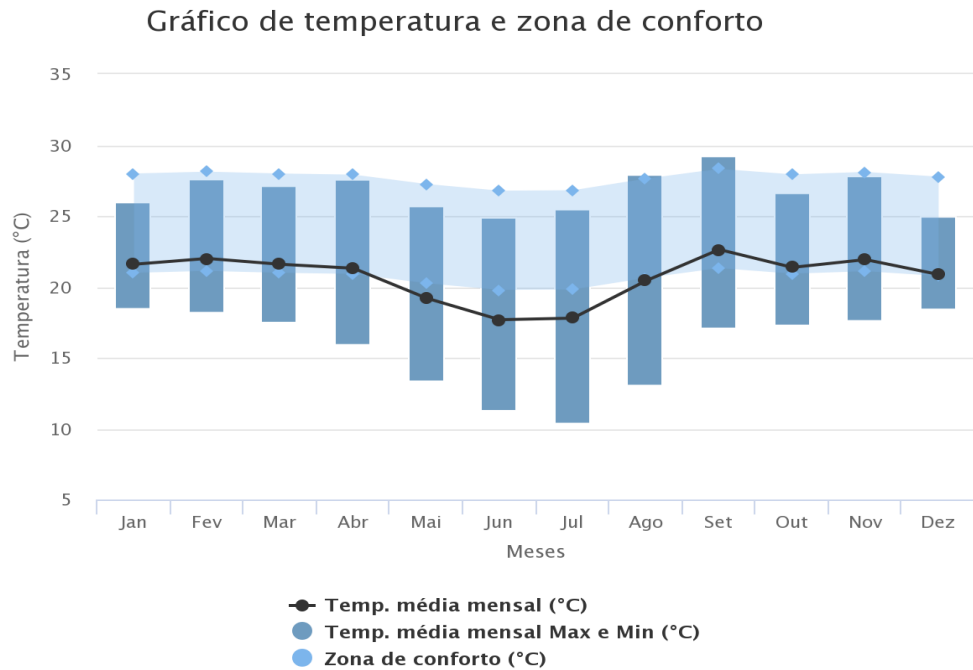


Figura 23: Temperaturas médias de Brasília em 2016.
Fonte: INMET, 2016.

Já a velocidade média do vento em Brasília (Figura 24) varia significativamente ao longo do ano. Entre os meses de junho e outubro os ventos são mais fortes, com velocidade média acima de 11,4 Km/h, enquanto nos demais meses a velocidade média fica em torno de 8,9 Km/h. (CONDIÇÕES..., 2018).

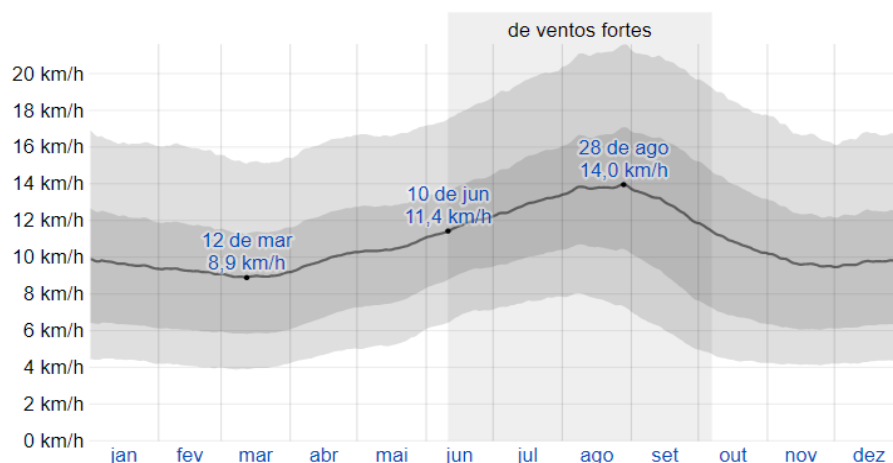


Figura 24: Velocidade média do vento em Brasília.
Fonte: WEATHER SPARK, 2018.

Para Givoni (1994), a ventilação natural pode garantir conforto quando a temperatura máxima externa é menor que 30°C. Assim, para os períodos de temperatura mais elevada em Brasília, o funcionamento das torres de vento pode ser satisfatório e a velocidade do ar no interior da edificação indicará a aplicabilidade da ventilação diurna ou noturna.

3.2 EDIFICAÇÃO DE ESTUDO

A simulação do uso de torre de vento foi realizada com base nos projetos arquitetônicos de uma casa de dois pavimentos, em que o pavimento térreo (Figura 25) é composto por sala de estar, lavabo e cozinha, enquanto o pavimento superior (Figura 26) possui dois quartos e banheiro social.



Figura 25: Pavimento térreo da casa em estudo.
Fonte: JARDINS DAS ACÁCIAS, 2012.



Figura 26: Pavimento superior da casa em estudo.
Fonte: JARDINS DAS ACÁCIAS, 2012.

O Setor Jardins Mangueiral possui 15 condomínios, sendo que cada um possui majoritariamente casas germinadas de dois pavimentos e, em número menor, edifícios de quatro pavimentos (Figura 27). As edificações são dispostas de maneira uniforme, contornando uma área de lazer central, de modo que a ventilação natural que incide nas residências pode ser controlada a depender da escolha da direção do condomínio.



Figura 27: Condomínio do Setor Jardins Mangueiral.
Fonte: AGÊNCIA BRASÍLIA, 2014.

A residência que foi modelada com torre de vento possui aproximadamente 60m² de área construída. Durante os períodos mais quentes do ano, a temperatura interna fica ainda mais elevada e a percepção de ventilação nos ambientes não é alta mesmo com as aberturas frontais e traseiras. Para suprir a baixa ventilação interna e conforto térmico é necessária a utilização de ventiladores e aparelhos de ar condicionado, elevando o consumo e, consequentemente, o gasto de energia elétrica.

Assim, como exemplo de residências com consumo de energia elétrica por meio de condicionadores mecânicos de ambientes justificou-se a escolha dessa edificação como modelo para implantação do sistema de torre de vento, demonstrando sua viabilidade, economia e eficiência energética.

4. METODOLOGIA

Para a realização do estudo proposto e alcançar os objetivos da pesquisa, foram adotadas as seguintes etapas metodológicas: determinação e modelagem dos modelos reduzidos, definição dos parâmetros de ensaio, montagem da bancada de sensores e ensaio em túnel de vento. O fluxograma do processo metodológico é apresentado no APÊNDICE A.

4.1 DETERMINAÇÃO DO MODELO REDUZIDO

A elaboração do modelo reduzido teve como base as plantas arquitetônicas apresentadas nas Figura 25 e Figura 26. A fim de complementar o estudo e avaliar as condições de conforto para uma residência de um pavimento, foi construído outro modelo de uma edificação térrea composta por sala de estar integrada à cozinha, um banheiro social e um dormitório (Figura 28).

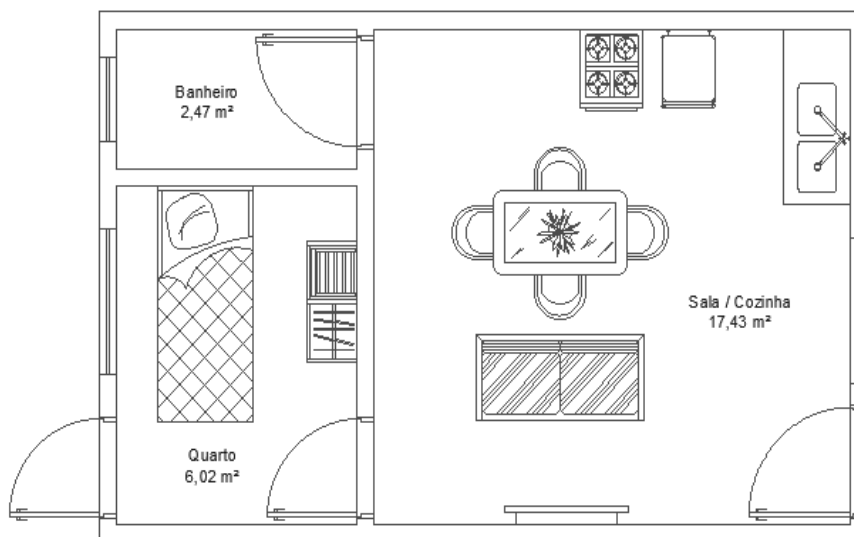


Figura 28: Planta adaptada para casa térrea de 1 quarto.
Fonte: autoria própria, 2019.

Para a confecção do modelo reduzido foi definida a geometria da torre estudada e seu posicionamento na cobertura da edificação. Em seguida, o modelo foi montado por meio dos cortes feitos a laser em chapa MDF, unidos por cola especial para esse material.

4.1.1 Definição da geometria da torre

Foram adotados três modelos de torres de vento com aberturas bidirecionais (Figura 29). A definição de utilização desses três modelos ocorreu devido a edificação estudada apresentar dimensões reduzidas e ser o tipo de geometria comumente utilizada. Além das duas aberturas, foi projetada a barreira central das torres para evitar a circulação cruzada do vento incidente. Dessa forma, os três modelos permitiram realizar tanto a análise da influência de área de abertura, quanto a eficiência do sistema de torres de vento para edificações de mais de um pavimento.

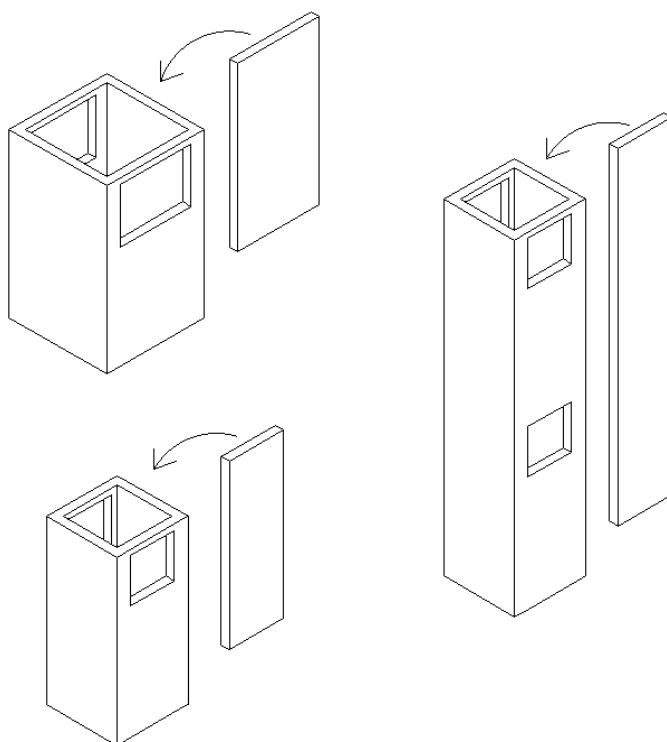


Figura 29: Torres bidirecionais projetada para o estudo.
Fonte: autoria própria, 2019.

A torre da edificação de dois pavimentos (Figura 30) foi projetada de modo que, além da abertura para a captação da ventilação natural, houvesse duas aberturas internas à edificação, permitindo a passagem do ar captado tanto para o segundo pavimento quanto para o pavimento térreo.



Figura 30: Torre de vento da edificação de dois pavimentos.
Fonte: autoria própria, 2019.

Para a edificação de um pavimento foram modeladas duas torres (Figura 31), com áreas de aberturas distintas, permitindo a análise da influência da geometria das aberturas na eficiência do sistema simulado. As dimensões de todas as torres projetadas estão apresentadas na Tabela 3.



Figura 31: Torres de vento da edificação de um pavimento.
Fonte: autoria própria, 2019.

Tabela 3: Dimensões das torres de vento projetadas.

Tipo de Edificação	Tipo de Torre	Altura da Torre (m)	Área das Aberturas da Torre (m ²)
Um Pavimento	A1	3	0,64
Um Pavimento	A2	3	1,3
Dois Pavimentos	B1	3	0,64

Fonte: autoria própria, 2019.

4.1.2 Construção dos modelos reduzidos

Os modelos reduzidos das edificações foram construídos na escala 1:25 com base nas dimensões máximas exigidas pela seção de ensaio do túnel. Além disso, a escolha da escala também foi definida em função da espessura de 15cm das paredes da edificação, de modo que tal dimensão correspondesse à espessura de 6mm da chapa de MDF no modelo reduzido.

Inicialmente foi feito um estudo preliminar da edificação para determinar o posicionamento da torre de vento de maneira mais favorável tanto à arquitetura da edificação quanto à captação e distribuição do vento nos ambientes internos. Para tanto, foi construído com *isopor* um modelo reduzido da edificação de dois pavimentos em que foi possível deslocar a torre de vento na cobertura da edificação (Figura 32).

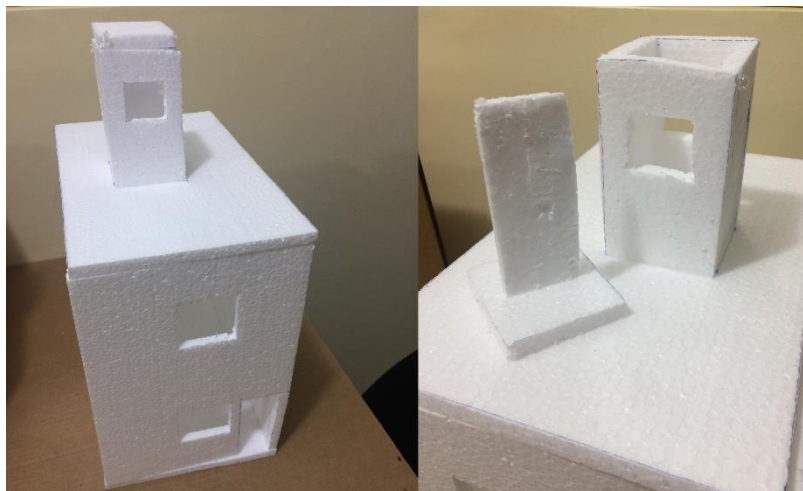


Figura 32: Modelo preliminar de uma casa de dois pavimentos.

Fonte: autoria própria, 2019.

Com o auxílio de um anemômetro digital e um aparelho de ventilação mecânica, foi definida a posição da torre que apresentou maior variação de

velocidade interna do vento comparando com a mesma edificação sem a torre de vento.

Com o posicionamento da torre definido, foram planificadas todas as paredes das edificações no *software* AutoCAD (Figura 33). A partir das planificações, foi realizada a modelagem das edificações no *software* Sketchup (Figura 34), a fim de avaliar o processo de montagem e encaixe de todas as peças antes do processo de corte.

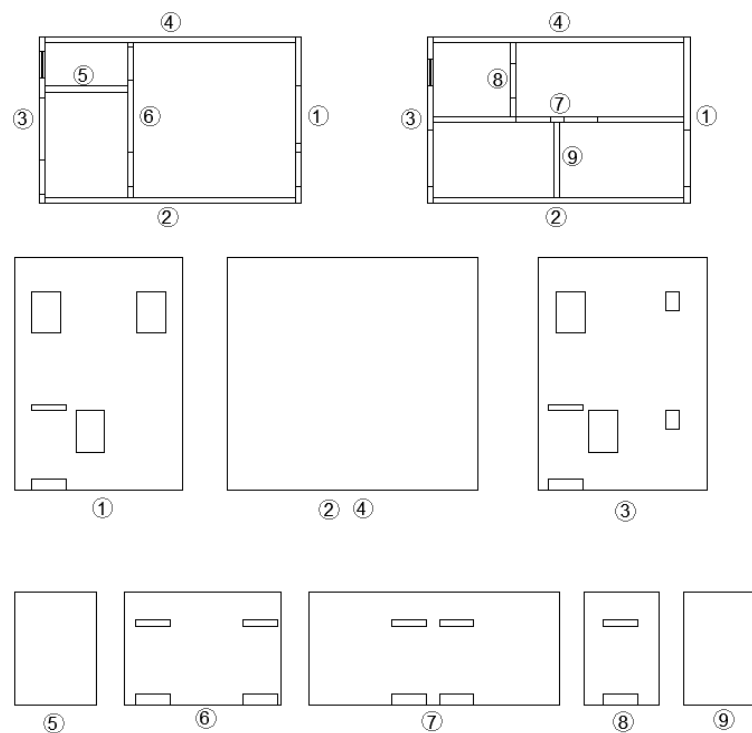


Figura 33: Planificação das paredes das edificações no *software* AutoCAD.
Fonte: autoria própria, 2019.

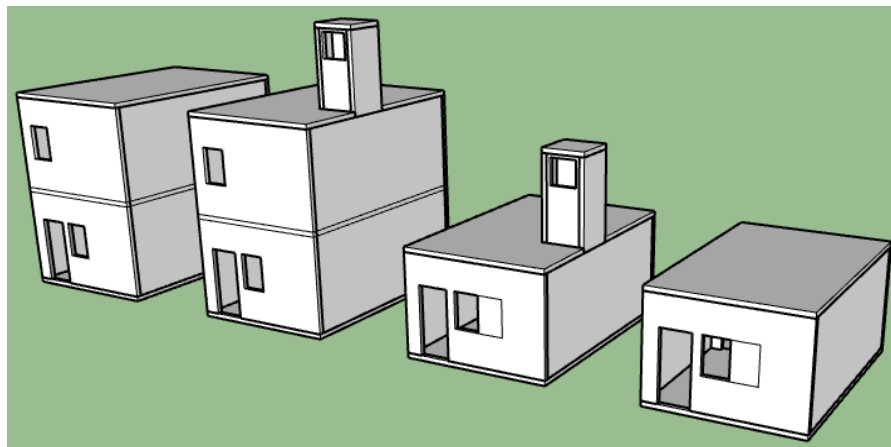


Figura 34: Modelagem das edificações no *software* Sketchup.
Fonte: autoria própria, 2019.

Após a finalização da modelagem eletrônica da maquete, as peças foram cortadas a laser em placas de MDF de 6mm de espessura (Figura 35). Em seguida, as maquetes foram montadas com todas as divisões e detalhes necessários ao estudo (Figura 36).

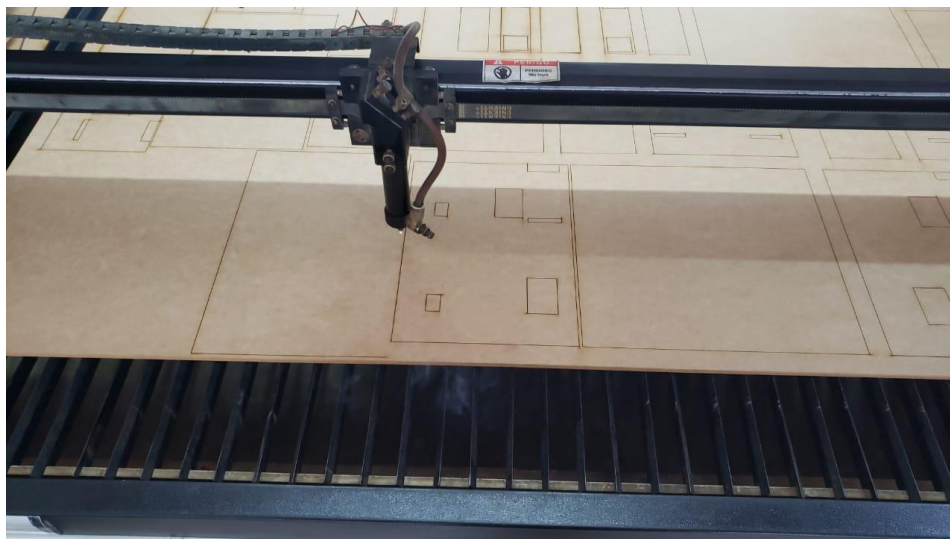


Figura 35: Corte a laser das peças em MDF.
Fonte: autoria própria, 2019.



Figura 36: Modelos reduzidos utilizados nos Ensaio.
Fonte: autoria própria, 2019.

As janelas foram detalhadas considerando 50% de abertura livre para passagem de ar. Para todas as portas da edificação foram consideradas portas venezianas, com aberturas inferiores e superiores. A fim de representar apenas as frestas para entrada de ar foram instaladas malhas perfuradas (Figura 37) nas aberturas simulando a não totalidade de abertura, no total, a taxa de abertura de cada veneziana foi de aproximadamente 70%.



Figura 37: Malha perfurada para simulação de venezianas.
Fonte: autoria própria, 2019.

4.2 PARÂMETROS DE ENSAIO

A determinação da velocidade do vento a ser desenvolvida pelo túnel de vento foi realizada por meio da análise de dados climáticos considerando o período de fevereiro de 2018 a janeiro de 2019. Os dados foram obtidos na base de dados disponibilizada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referente à estação automática Brasília-A001.

A fim de ser uma análise voltada para o conforto térmico do indivíduo, foi utilizado o dia típico de projeto, baseado na metodologia de Sattler (1989). Para tanto, foi calculada a média diária dos dados selecionados e, em seguida, foram colocados em ordem crescente. Desses valores, foi selecionado 15% do número total de dias (APÊNDICE B), correspondendo ao conjunto de dias de temperaturas médias mais elevadas, denominados por dias quentes (GOULART *et al.*, 1998).

Para os dias quentes obtidos, foi selecionado o nível de 1% para a realização do presente estudo, correspondendo ao dia 13/10/2019. As médias dos dados climáticos desse dia estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Dados climáticos do dia 13/10/2018.

Tabela 4: Dados climáticos do dia 19/10/2018.												
TEMPERATURA (°C)			UMIDADE (%)			PRESSÃO (hPa)			VENTO (m/s)		CHUVA (mm)	
Int.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir. (°)		Raj.
27.01	27.78	26.33	34.83	37.13	32.58	887.03	887.31	886.80	1.88	108.79	4.58	0.00

Fonte: autoria própria, 2019.

Com base na Tabela 4, a velocidade média do vento do dia típico foi igual a 1,88m/s, dessa maneira, foi definida a velocidade igual a 2m/s como a velocidade do vento de ensaio. Com o objetivo de simular diferentes cenários, foram definidas outras duas velocidades para o ensaio: uma representando a maior média diária de velocidade do vento no ano – aproximadamente 7m/s –, e outra considerando uma velocidade de vento intermediária entre os dois valores já determinados – 4m/s.

4.3 PROGRAMAÇÃO DE SENSORES ARDUÍNO

Para a realização do ensaio em túnel de vento, foram empregados sensores Arduino de temperatura, possibilitando programar as entradas e saídas dos resultados de acordo com as variações captadas pelos sensores.

O sensor utilizado para a realização do ensaio foi o sensor de temperatura Ds18b20 (Figura 38). Esse sensor apresenta precisão de até $\pm 0,5$ °C, sua tensão de operação é de 3 a 5,5V e realiza medições de temperatura numa faixa de -55°C a +125 °C (THOMSEN, 2015).



Figura 38: Sensor de temperatura Ds18b20.
Fonte: THOMSEN, 2015.

O sensor Ds18b20 é um sensor digital que possui um endereço serial de 64 bits possibilitando reunir vários sensores em um mesmo barramento e obtendo valores de temperatura de cada sensor separadamente (MADEIRA, 2018). A programação do sensor foi feita de modo que o mesmo retornasse valores de temperatura em graus Celsius, o código programado está apresentado no APÊNDICE C.

A programação do sensor foi feita para os dois tipos de edificação estudados, de modo que foram programados quatro sensores para a edificação de dois pavimentos e dois sensores para a edificação de um pavimento. As distribuições dos sensores se deu da seguinte maneira: na edificação de um pavimento, um sensor foi inserido na sala de estar e outro no quarto (Figura 39); na edificação de dois pavimentos, um sensor foi inserido na sala de estar, outros dois em cada quarto e outro na cozinha (Figura 40).

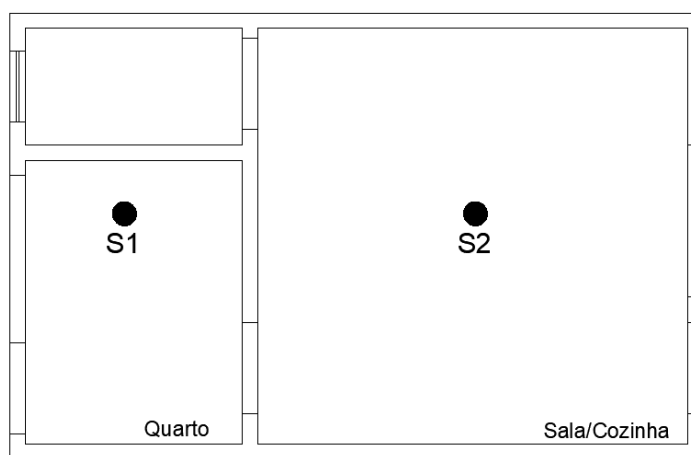


Figura 39: Distribuição dos sensores na edificação de um pavimento.
Fonte: autoria própria, 2019.

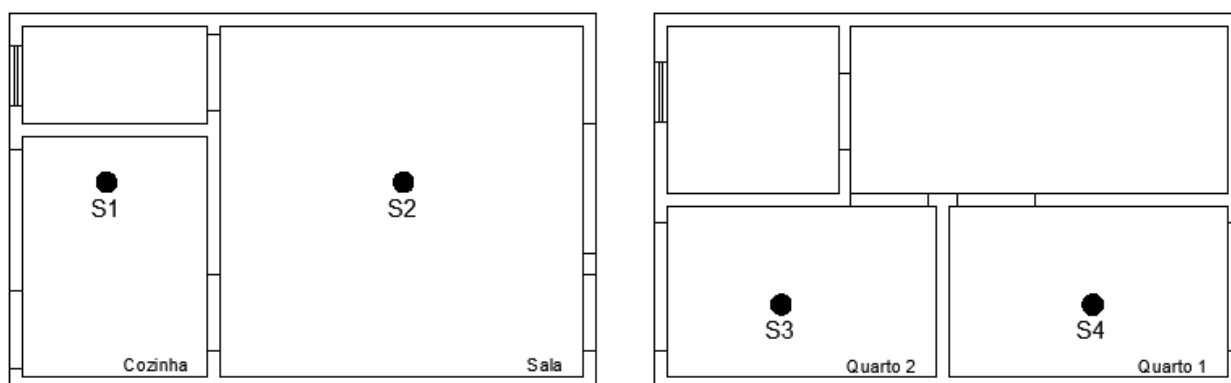


Figura 40: Distribuição dos sensores na edificação de dois pavimentos.
Fonte: autoria própria, 2019.

Os sensores foram instalados nas maquetes por meio de perfurações efetuadas nas bases dos modelos reduzidos, posicionados em locais afastados das portas, simulando a situação térmica mais desfavorável ao ambiente.

4.4 ENSAIO EM TÚNEL DE VENTO

O ensaio foi realizado no túnel de vento de circuito fechado do Laboratório de Mecânica dos Fluidos da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília (Figura 41). As dimensões da seção de ensaio do túnel de vento são de 0,6 metros de altura por 0,6 metros de largura, resultando uma área da seção transversal de ensaio de 0,36 m².



Figura 41: Túnel de Vento do Laboratório de Mecânica dos Fluidos.
Fonte: autoria própria, 2019.

Inicialmente foi preparada área de ensaio, posicionando os sensores de temperatura dentro da seção de ensaio do túnel através de furos da sua base acrílica (Figura 42). A fim de ter maior mobilidade para os sensores, foi projetada uma base em MDF com altura de 4cm, em que em sua base inferior foram feitos furos coincidentes aos furos da área de ensaio e na base superior foram feitos furos localizados de acordo com os furos dos ambientes das edificações. Além dos sensores, também foi posicionado o anemômetro digital em frente ao fluxo de vento para controlar a velocidade do vento dentro do túnel.

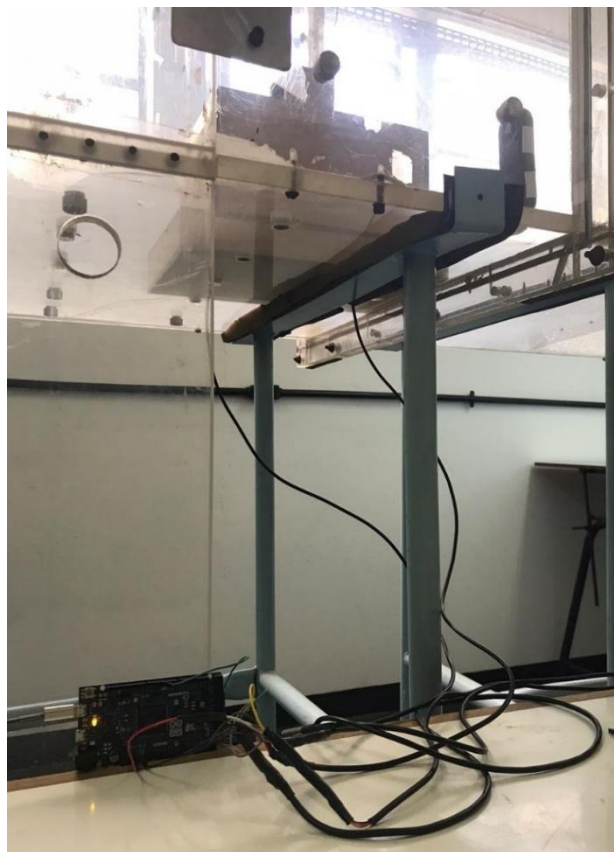


Figura 42: Sensores de temperatura instalados no modelo reduzido.
Fonte: autoria própria, 2019.

O procedimento experimental ocorreu em três etapas devido às três velocidades do vento definidas para ensaio. Dessa forma, o ensaio iniciou com o posicionamento do modelo reduzido da casa de um pavimento sem o sistema de torre de vento. Em seguida, o motor do túnel de vento foi ligado até alcançar a velocidade de 2 m/s do fluxo de vento. Para que a temperatura fosse estabilizada, foi aguardado um período de cinco minutos para a coleta de dados. Após esse período o programa do Arduino foi iniciado e foram coletados os dados de temperatura durante um minuto.

Após a primeira coleta de dados, foi inserida a torre A1 no modelo reduzido de um pavimento e realizado o mesmo procedimento descrito anteriormente para mesma velocidade de 2 m/s. Em seguida, foi realizado o procedimento para o modelo com a torre A2. Finalizada a coleta de dados para a velocidade de 2 m/s, os ensaios foram repetidos para as velocidades de 4 m/s e 7 m/s do modelo de um pavimento (Figura 43).

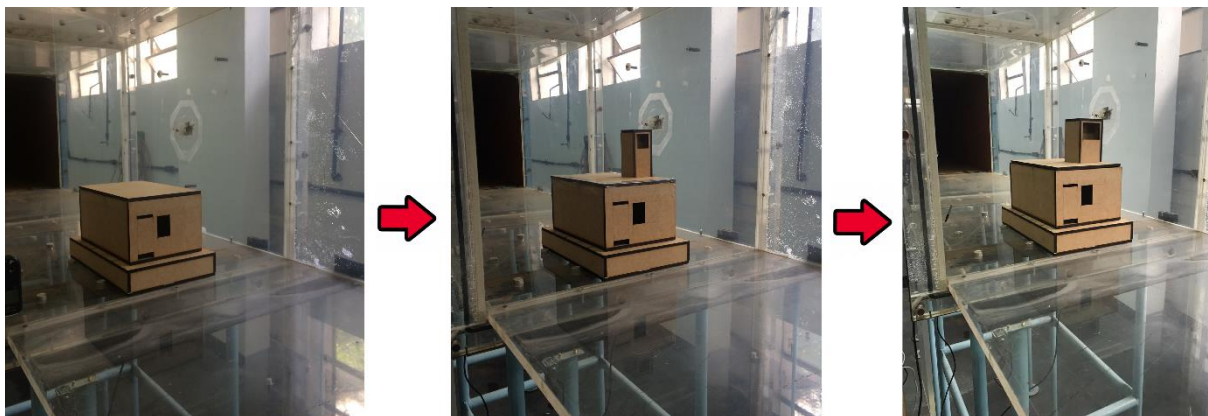


Figura 43: Sequência do ensaio em túnel de vento - Modelo de um pavimento.
Fonte: autoria própria, 2019.

Por fim, foi realizada a instalação do modelo de dois pavimentos e, em seguida, foram realizados os mesmos procedimentos apresentados anteriormente para as três velocidades definidas (Figura 44).

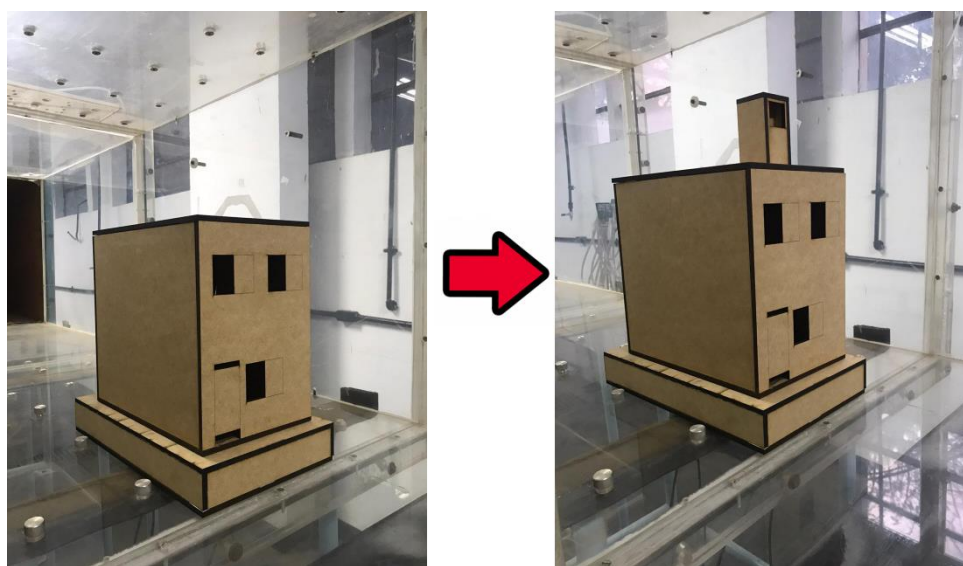


Figura 44: Sequência do ensaio em túnel de vento - Modelo de dois pavimentos.
Fonte: autoria própria, 2019.




5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a realização dos ensaios no túnel de vento foi obtido uma grande quantidade de dados, uma vez que cada tomada de temperatura foi feita durante o período de um minuto. Dessa forma, foi realizada a média desses dados coletados para as diferentes velocidades de vento definidas.

5.1 MODELO DE UM PAVIMENTO

A Tabela 5 apresenta os resultados de temperatura obtidos para cada configuração do modelo reduzido da edificação de um pavimento, com velocidade do vento dentro do túnel igual a 2 m/s.

Tabela 5: Temperaturas para velocidade do vento igual a 2m/s – Casa Térrea.




Configuração do Modelo	Temperatura (°C)	
	Sensor 1 (Quarto)	Sensor 2 (Sala)
 Sem Torre	27,0 °C	27,0 °C
 Torre A1	27,0 °C	27,0 °C
 Torre A2	26,5 °C	26,5 °C

Fonte: autoria própria, 2019.

Observa-se que não houve variação de temperatura entre o modelo sem torre de vento e o modelo com a torre A1 (variação de 0%). Já para a torre A2, a variação de temperatura com relação ao modelo sem torre de vento foi de 0,5°C (variação de 1,85%) para os dois ambientes.

Com a elevação da velocidade do vento dentro do túnel para 4 m/s, a variação de temperatura para o modelo com torre A1 ocorreu apenas no cômodo da sala, onde ocorre a saída de ar da torre de vento. Essa variação foi de 0,5°C (1,85%). Já o modelo com a torre de vento A2 apresentou variação de temperatura nos dois ambientes, sendo uma variação de 1°C (3,70%) na sala e de 0,5°C (1,85%) no quarto (Tabela 6).




Tabela 6: Temperaturas para velocidade do vento igual a 4m/s – Casa Térrea.

Configuração do Modelo	Temperatura (°C)	
	Sensor 1 (Quarto)	Sensor 2 (Sala)
 Sem Torre	27,0 °C	27,0 °C
 Torre A1	27,0 °C	26,5 °C
 Torre A2	26,5 °C	26,0 °C

Fonte: autoria própria, 2019.

Para a velocidade de 7 m/s, de acordo com a Tabela 7, percebe-se uma variação de temperatura comum aos dois ambientes tanto para a edificação com torre A1, quanto para a edificação com torre A2, sendo essa variação de 0,5°C (1,85%) e 1,5°C (5,56%) respectivamente.

Tabela 7: Temperaturas para velocidade do vento igual a 7m/s – Casa Térrea.

Configuração do Modelo	Temperatura (°C)	
	Sensor 1 (Quarto)	Sensor 2 (Sala)
 Sem Torre	27,5 °C	27,5 °C
 Torre A1	27,0 °C	27,0 °C
 Torre A2	26,0 °C	26,0 °C

Fonte: autoria própria, 2019.

De modo geral, percebe-se que a inserção da torre de vento na edificação altera a circulação do ar em seu interior, resfriando o ambiente. Para as seções de abertura das torres estudadas, temos que um aumento de aproximadamente 50% de sua área reduz a temperatura em 0,5°C (1,85%) com relação à torre com área de abertura inferior.



Além disso, temos que, para baixas velocidades de vento, as seções da torre necessitam ser próximas às seções da torre A2 para que seja possível obter

variações de temperatura mais significativas. E, para ventos com velocidades mais elevadas, as torres com áreas de abertura maiores apresentam ainda mais eficiência quanto à redução de temperatura interna da edificação.

5.2 MODELO DE DOIS PAVIMENTOS

A partir dos resultados do ensaio obtidos referentes à edificação de dois pavimentos, observou-se que, para a velocidade de vento igual a 2 m/s, a inserção da torre de vento causou variação de temperatura em todos os ambientes de maneira uniforme, variando 0,5°C (1,85%), conforme apresentado na Tabela 8.



Tabela 8: Temperaturas para velocidade do vento igual a 2m/s – Casa de 2 pavimentos.

Configuração do Modelo	Temperatura (°C)			
	Sensor 1 (Cozinha)	Sensor 2 (Sala)	Sensor 3 (Quarto 2)	Sensor 4 (Quarto 1)
 Sem Torre	26,5 °C	26,0 °C	27,0 °C	27,0 °C
 Com Torre	26,0 °C	25,5 °C	26,5 °C	26,5 °C

Fonte: autoria própria, 2019.



Para as velocidades do vento iguais a 4 m/s e 7 m/s, percebe-se que foi mantido o padrão observado no ensaio com velocidade de 2 m/s, com redução de 0,5°C (1,85%) em todos os ambientes dos modelos (Tabela 9 e Tabela 10).

Tabela 9: Temperaturas para velocidade do vento igual a 4m/s – Casa de 2 pavimentos.

Configuração do Modelo	Temperatura (°C)			
	Sensor 1 (Cozinha)	Sensor 2 (Sala)	Sensor 3 (Quarto 2)	Sensor 4 (Quarto 1)
 Sem Torre	26,0 °C	26,0 °C	26,5 °C	26,5 °C
 Com Torre	25,5 °C	25,5 °C	26,0 °C	26,0 °C

Fonte: autoria própria, 2019.

Tabela 10: Temperaturas para velocidade do vento igual a 7m/s – Casa de 2 pavimentos.

Configuração do Modelo	Temperatura (°C)			
	Sensor 1 (Cozinha)	Sensor 2 (Sala)	Sensor 3 (Quarto 2)	Sensor 4 (Quarto 1)
 Sem Torre	25,5 °C	25,5 °C	26,5 °C	26,0 °C
 Com Torre	25,5 °C	25,5 °C	26,0 °C	26,0 °C

Fonte: autoria própria, 2019.

Para as três velocidades estudadas é possível verificar a eficiência da torre de vento na distribuição de ventilação natural para edificações de dois pavimentos, de maneira que essa distribuição reduza os índices de temperatura interna uniformemente.

5.3 ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Como visto anteriormente, a eficiência energética procura utilizar as fontes de energia de maneira racional para alcançar determinados resultados. Uma das formas de alcançar essa eficiência é por meio da implantação de sistemas que substituam o uso de aparelhos elétricos, como é o caso do sistema de torres de vento em edificações, que vem sendo estudado.

A partir dos resultados obtidos nos ensaios em túnel de vento, foi possível avaliar a eficiência do sistema de torres de vento em um contexto geral, em que a maioria dos modelos estudados apresentou uma variação de temperatura de, no mínimo, 0,5°C, chegando a 1,5°C (ou 1,85% e 5,56%, respectivamente).

Esse resultado, no contexto da eficiência energética, apresenta significativa redução de consumo de energia, uma vez que, para reduzir a temperatura de ambientes em cerca de 1°C através de equipamentos de ar condicionado, por exemplo, há um consumo de energia de 3,5%, aproximadamente. De acordo com o engenheiro mecânico Arnaldo Parra, esse consumo pode chegar a até 7% (BELIN, 2019).

Considerando a edificação térrea estudada, para se obter a mesma redução de 1°C da temperatura interna do ambiente utilizando um aparelho de ar condicionado de 12.000 BTU o consumo de energia seria de aproximadamente 0,875 kWh/mês, se ligado apenas uma hora por dia. Se considerarmos um aparelho em cada cômodo ligado por quatro horas diárias, o consumo para a redução de apenas 1°C seria em torno de 7 kWh/mês. Lembrando que o consumo de energia elétrica por residência em uma edificação alcança, em média, 157 kWh/mês, esses 7 kWh representariam uma economia de 4,46% no consumo de energia.

Sendo a edificação localizada em um Setor Habitacional com oito mil unidades, se cada residência utilizasse aparelhos de ar condicionado para reduzir 1°C nas condições apresentadas acima, o consumo chegaria a 56.000 kWh/mês, o

suficiente para abastecer 356 edificações de consumo elétrico médio. Desta maneira, a cada 15 condomínios do Setor Jardins Mangueira com sistemas de torre de vento, seria possível economizar energia suficiente para abastecer mais um condomínio inteiro. A Figura 45 apresenta o esquema da análise realizada.

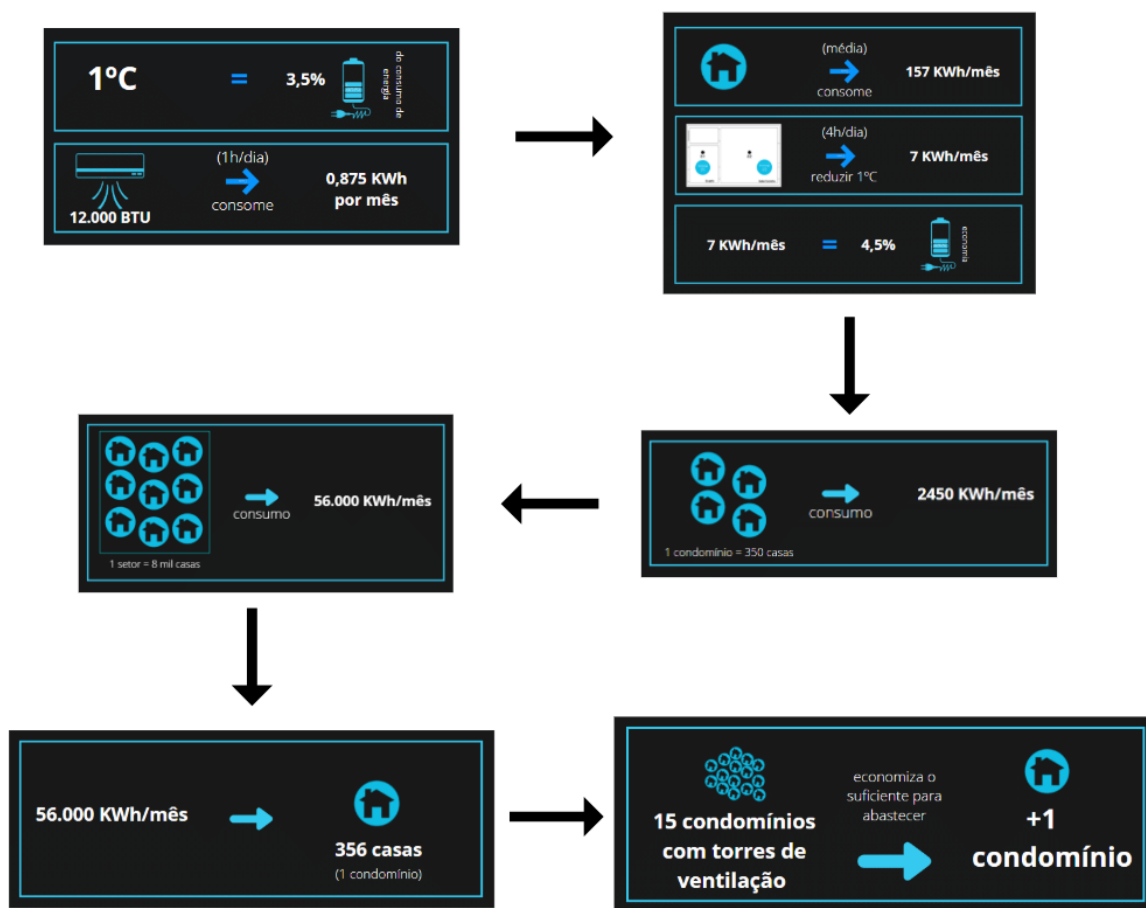


Figura 45: Esquema da análise de eficiência na utilização de torre de vento.

Dessa forma, é possível verificar os benefícios da utilização do sistema de torres de vento tanto na questão de eficiência energética, quanto nas condições de conforto térmico para os usuários.

6. CONCLUSÃO

Falar em eficiência energética é falar sobre a sustentabilidade da vida humana, é pensar maneiras de alcançar determinados resultados sem sobrecarregar um sistema que já vem sendo sobrecarregado há séculos. O estudo realizado ao longo deste trabalho, com objetivo de pensar maneiras alternativas aos combustíveis fósseis, possui grande importância na construção de uma sociedade mais avançada econômica, ambiental e socialmente.

Os resultados obtidos demonstram que não somente é possível, como também é necessário que o meio acadêmico incentive essa área de pesquisa. Além disso, trazer tal assunto para o campo da engenharia civil reforça o papel do profissional de pensar em formas alternativas de construção, mostrando caminhos possíveis para a construção de casas confortáveis aos usuários, com soluções de baixo custo e acessíveis à diferentes classes sociais.

A análise dos dados de temperatura obtidos através dos ensaios em túnel de vento demonstra que o sistema de torres de vento é eficiente tanto na redução da sensação térmica interna dos ambientes, como na redução de consumo de energia elétrica através de aparelhos de ventilação mecânica.

Dentre os modelos ensaiados, a edificação de um pavimento com a torre de maior área de abertura apresentou a maior redução de temperatura interna. Porém, mesmo com uma redução de $0,5^{\circ}\text{C}$, os demais modelos também apresentam grande capacidade de aplicação, tendo em vista que esse índice de redução pode alcançar altos níveis de economia de energia considerando a quantidade de habitações que podem ser construídas com tal sistema.

Quanto ao presente estudo realizado, sugere-se dar continuidade levando em conta parâmetros e configurações distintos. Como propostas de continuidade pode-se destacar:

- Avaliação das condições de temperatura interna das edificações para diferentes direções de captação de vento;
- Estudo do fluxo de ar na entrada e saída da torre de vento;
- Reprodução dos ensaios considerando diferentes formatos e alturas das torres de vento;

- Reprodução dos ensaios considerando diferentes sequências metodológicas;
- Simulação da interferência de obstáculos externos às edificações na captação de ventilação natural;
- Estudo do comportamento de diferentes variáveis com a implantação das torres de vento, como pressão e velocidade do fluxo de ar dentro de cada ambiente, dentre outros.

Assim, observa-se inúmeras possibilidades e vertentes que a análise de torres de vento possibilita. É preciso dar continuidade aos estudos a fim de se chegar a alternativas totalmente capazes de serem implementadas, assim como já ocorre nos hospitais da Rede Sarah Kubitschek, de modo que os projetos sejam colocados em prática, sendo respaldados pela comunidade científica e contribuindo para a evolução de questões ambientais e sociais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A'ZAMI, A. **Badgir in traditional Iranian architecture**. International Conference "Passive and Low Energy Cooling 1021 for the Built Environment". Santorini, Greece. 2005.

ABREU, W. G. **Manutenção Predial Sustentável: diretrizes e práticas em shopping centers**. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Engenharia Civil. Niterói, Universidade Federal Fluminense, 2012.

AEROALCOOL. **AA-TVSH50: Túnel de vento de circuito aberto**. Disponível em: <<http://www.aeroalcool.com.br/index.php/tuneis-de-vento/25-gallery/tuneis-de-vento/30-aa-tvsh50>>. Acesso em: out 2019.

ANDRADE, Nixon Cesar de. **Estudo da ventilação natural em edificações com captadores de vento multidirecionais por meio de ensaios em túnel de vento e simulações computacionais**. Campinas, SP, 2013.

ÂNGELO, F. **Construção civil: reduzir o consumo de água e energia é o maior desafio**. Meio ambiente News, 2009. Disponível em: <[http://meioambientenews.com.br/conteudo.ler.php?q\[1%7Cconteudo.idcategoria\]=25&id=4611](http://meioambientenews.com.br/conteudo.ler.php?q[1%7Cconteudo.idcategoria]=25&id=4611)>. Acesso em: out 2018.

BADRAN, A.A. **Performance of cool towers under various climates in Jordan**. Energy and Buildings. V. 35, n. 10, p.1031-1035, Nov. 2003.

BAHADORI, M. N. **An Improved Design of Wind Towers for Natural Ventilation and Passive Cooling**. College of Architecture and Environmental Design, Arizona State University, USA, 1985.

BELIN, L. **Qual a temperatura ideal para o ar-condicionado consumir menos energia?**. Gazeta do povo. 2019. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/haus/sustentabilidade/qual-temperatura-ideal-ar-condicionado-consumir-menos-energia/>>. Acesso em: Nov 2019.

BORGES, B. F. R. **Utilização de Torres de Vento em Edificações para Maximização do Conforto Térmico**. Monografia de Projeto Final em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2018.

CASTRO, L. H. M. **O uso do Arduino e do Processing no Ensino de Física**. Dissertação de mestrado, UNIRIO / IBIO. Rio de Janeiro, 2016.

CONDIÇÕES meteorológicas médias de Brasília. **Weather Spark**. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/30238/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Bras%C3%ADlia-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: Nov 2018.

ELIAS, J. **O que é Bâdgir, ou “torre de vento”?**. Chá de Lima da Pérsia. 2015. Disponível em: <<https://chadelimadapersia.blogspot.com/2015/04/o-que-e-badgir-ou-torre-de-vento.html>>. Acesso em: nov 2018.

EL-SHORBAGY, A. **Design with Nature: Windcatcher as a Paradigm of Natural Ventilation Device in Buildings**. Architecture Department, College of Engineering. Effat University, Saudi Arabia. 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **EPE publica Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018**. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/epe-publica-o-anuario-estatistico-de-energia-eletrica-2018>>. Acesso em: out 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018**. 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: out 2018.

FATHY, H. **Natural energy and vernacular architecture: Principles and examples with reference to hot arid climates**. Londres: The Chicago University Press Ltd., 1986.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 8ª Ed. Studio Nobel. 2016. 248 p.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. 2ª Edição. Florianópolis, SC. Outubro, 1998.

GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. Van Nostrand Reinhold publishing company, 1994.

HALL, N. **Wind Tunnel**. *National Aeronautics and Space Administration*. 2015. Disponível em: <<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/shortt.html>>. Acesso em: jul 2019.

KÁRMAN, T. V. **L'Aérodynamique dans l'Art de l'Ingénieur**. *Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils de France*. França, Julho de 1948.

LAMBERTS, R. **Desempenho Térmico de Edificações**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**, 2014.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A. L. P.; CARLO, J. C.; BATISTA, J. O.; MARINOSKI, D. L.; NARANJO, A.; DUARTE, V. C. P.; **Desempenho Térmico de Edificações**, Laboratório de Eficiência Energética em Edifícios, Florianópolis, 2016.

LATORRACA, G. **João Filgueiras Lima**. Lisboa: Blau; São Paulo: Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, 1999.

LENGEN, J. **Manual do Arquiteto Descalço**. 1ª Ed. Empório do Livro. 2009.

LÔBO, D.G.F.; BITTENCOURT, L.S. **A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos**. Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 3, n. 2, 2003.

LUKIANCHUKI, M. A. **A evolução das estratégias de conforto térmico e ventilação natural na obra de João Filgueiras Lima, Lelé: Hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado. São Carlos, SP. 2010.

MADEIRA, D. **DS18B20 – Sensor de temperatura inteligente**. Vida de Silício, 2018. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/sensor-de-temperatura-ds18b20/>>. Acesso em: out 2019.

MATOS, F. F. S.; ARARIPE, R. S. **Avaliação da curvatura do bocal de um túnel de vento subsônico e aberto, utilizando simulação numérica**. Conex. Ci. e Tecnol. Fortaleza, CE. 2016.

MAZON, A. A. O. **Ventilação natural em galpões utilizando lanternins**. Ouro Preto: Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, UFOP, 2005. 214p.

MEHTA, R.; BRADSHAW, P. **Tecnichal Notes: Design Rules for Small Low Speed Wind Tunnels**. *The Aeronautical Journal of the Royal Aeronautical Society*. Novembro, 1979.

MCROBERTS, M. **Arduino básico**. Tradução Rafael Zanolli. São Paulo: Novatec, 2011.

MOURA, M.; MOTTA, A. L. T. S. **O fator energia na construção Civil**. IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2013.

NUNES, C. **A importância da ventilação natural para arquitetura bioclimática**. SustentAqui, 2014. Disponível em: <<https://sustentarqui.com.br/importancia-da-ventilacao-natural-para-arquitetura-sustentavel/>>. Acesso em: out 2018.

PEREIRA, M. **Estenda alguns conceitos de ventilação natural**. Archdaily. 2018. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/886541/ventilacao-cruzada-efeito-chamine-entenda-alguns-conceitos-de-ventilacao-natural>>. Acesso em: nov 2018.

PIANCA, J. B.; BLESSMANN, J.; MARTIN, F. J. S. **Manual do Engenheiro**. Vol. 7, Editora Globo. Porto Alegre, RS, 1967.

POLON, L. **Clima Tropical**. Estudo Prático. 2014. Disponível em: <<https://www.estudopratico.com.br/clima-tropical/>>. Acesso em: dez 2018.

QUEIROZ, L. **O planejamento e o futuro do setor elétrico brasileiro**. GGN Energia. 2014. Disponível em: <<https://jornalggn.com.br/noticia/o-planejamento-e-o-futuro-do-setor-eletrico-brasileiro-0>>. Acesso em: out 2018.

SATTLER, M. **Dias Climáticos Típicos para o Projeto Térmico de Edificações em Porto Alegre**. CIENTEC, Porto Alegre. 1989.

SEDF. **Jardins Mangueral**. Disponível em: <http://www.fazenda.df.gov.br/area.cfm?id_area=1318>. Acesso em: set 2019.

SEDUH. **Jardins Mangueral**. Assessoria de comunicação Sedhab. 2012. Disponível em: <<http://www.seduh.df.gov.br/jardins-mangueral-8/>>. Acesso em: set 2019.

SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. Dissertação de Metrado. Florianópolis, SC. 2009.

THOMÉ, B. B. **Sustentabilidade na construção civil: Eficiência energética como diferencial para construtoras**. Sienge, 2017. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/sustentabilidade-na-construcao-civil-eficiencia-energetica-como-diferencial-para-construtoras/>>. Acesso em: out. 2018.

THOMSEN, A. **Medindo temperatura debaixo d'água com DS18B20**. Filipeflor, 2015. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/sensor-de-temperatura-ds18b20-arduino/>>. Acesso em: out 2019.

TORRES de Vento. **Projeteee, 2018**. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/implementacao/torres-de-vento/?cod=vn>>. Acesso em: out 2018.

VENTILAÇÃO Natural. **Projeteee, 2018**. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/estrategia/ventilacao-natural/>>. Acesso em: out 2018.

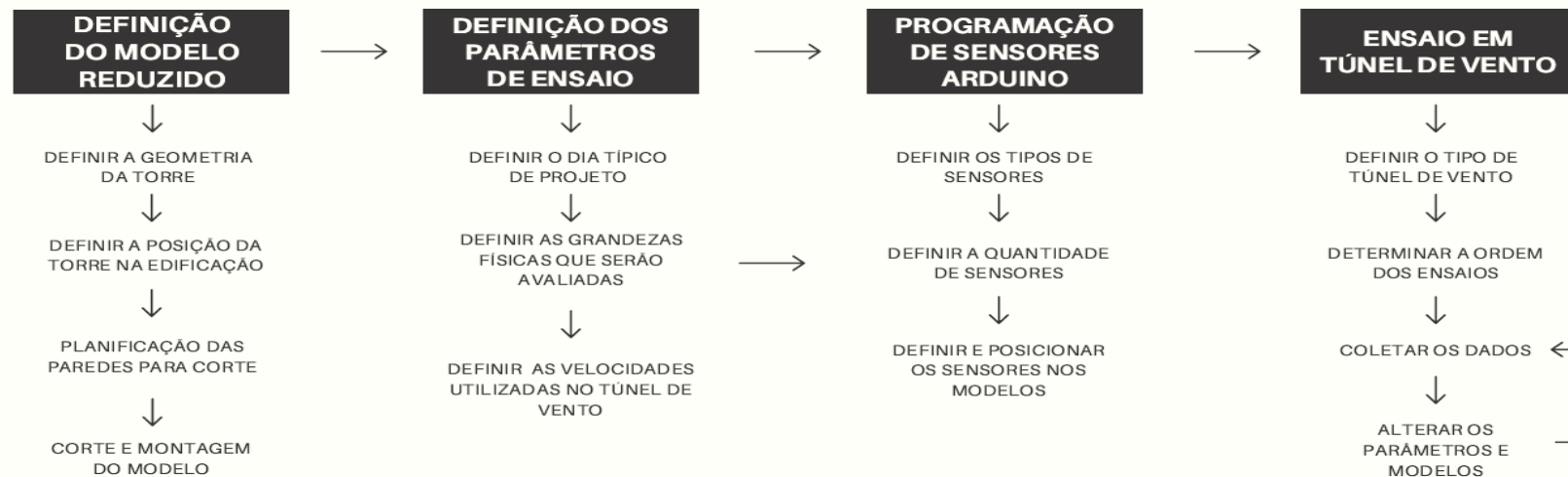
APÊNDICES

APÊNDICE A

ESTUDO DE TORRES DE VENTO

ENSAIO EM TÚNEL DE VENTO VISANDO AO CONFORTO TÉRMICO E À
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES

METODOLOGIA



APÊNDICE B

Tabela 11: Dias mais quentes do período 2017-2018.

Data	Temperatura Média (°C)	Data	Temperatura Média (°C)
13/10/2018	27,05	23/09/2018	24,25
12/10/2018	26,77	19/12/2018	24,14
29/09/2018	26,66	14/09/2018	24,07
30/09/2018	25,86	16/01/2019	24,01
23/01/2019	25,71	06/10/2018	23,93
24/09/2018	25,68	30/01/2019	23,90
26/09/2018	25,65	27/10/2018	23,86
25/09/2018	25,60	24/08/2018	23,82
03/02/2019	25,58	20/01/2019	23,79
28/09/2018	25,53	29/01/2019	23,77
02/02/2019	25,48	13/02/2018	23,75
14/10/2018	25,34	02/09/2018	23,74
11/10/2018	25,33	18/12/2018	23,65
13/09/2018	25,31	22/09/2018	23,62
27/09/2018	25,20	07/09/2018	23,59
22/01/2019	25,17	28/10/2018	23,58
05/10/2018	25,16	04/01/2019	23,56
04/10/2018	25,05	14/02/2018	23,52
24/01/2019	25,01	16/10/2018	23,52
08/10/2018	24,93	17/12/2018	23,52
12/09/2018	24,83	15/01/2019	23,52
31/01/2019	24,80	17/01/2019	23,49
01/02/2019	24,61	03/09/2018	23,45
03/10/2018	24,49	08/01/2019	23,41
21/12/2018	24,48	19/01/2019	23,40
20/12/2018	24,34	01/10/2018	23,39
03/01/2019	24,31	14/01/2019	23,35
21/01/2019	24,28		

Fonte: Autoria própria, 2019

APÊNDICE C

```
// Include the libraries we need
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Data wire is plugged into port 2 on the Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 3
#define TEMPERATURE_PRECISION 9

// Setup a OneWire instance to communicate with any OneWire devices (not just Maxim/Dallas temperature ICs)
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

// Pass our oneWire reference to Dallas Temperature.
DallasTemperature sensors(&oneWire);

// arrays to hold device addresses
DeviceAddress Termometro1, Termometro2, Termometro3, Termometro4;

// Assign address manually. The addresses below will need to be changed
// to valid device addresses on your bus. Device address can be retrieved
// by using either oneWire.search(deviceAddress) or individually via
// sensors.getAddress(deviceAddress, index)
// DeviceAddress insideThermometer = { 0x28, 0x1D, 0x39, 0x31, 0x2, 0x0, 0x0, 0xF0 };
// DeviceAddress outsideThermometer = { 0x28, 0x3F, 0x1C, 0x31, 0x2, 0x0, 0x0, 0x2 };

void setup(void)
{
    // start serial port
    Serial.begin(57600);

    // Start up the library
    sensors.begin();

    // locate devices on the bus
    Serial.print("Locating devices...");
    Serial.print("Found ");
    Serial.print(sensors.getDeviceCount(), DEC);
    Serial.println(" devices.");

    Serial.println(" devices.");

    // report parasite power requirements
    Serial.print("Parasite power is: ");
    if (sensors.isParasitePowerMode()) Serial.println("ON");
    else Serial.println("OFF");

    // Search for devices on the bus and assign based on an index. Ideally,
    // you would do this to initially discover addresses on the bus and then
    // use those addresses and manually assign them (see above) once you know
    // the devices on your bus (and assuming they don't change).
    //
    // method 1: by index
    if (!sensors.getAddress(Termometro1, 0)) Serial.println("Unable to find address for Device 0");
    if (!sensors.getAddress(Termometro2, 1)) Serial.println("Unable to find address for Device 1");
    if (!sensors.getAddress(Termometro3, 2)) Serial.println("Unable to find address for Device 2");
    if (!sensors.getAddress(Termometro4, 3)) Serial.println("Unable to find address for Device 3");
```

```

// method 2: search()
// search() looks for the next device. Returns 1 if a new address has been
// returned. A zero might mean that the bus is shorted, there are no devices,
// or you have already retrieved all of them. It might be a good idea to
// check the CRC to make sure you didn't get garbage. The order is
// deterministic. You will always get the same devices in the same order
//
// Must be called before search()
//oneWire.reset_search();
// assigns the first address found to insideThermometer
//if (!oneWire.search(insideThermometer)) Serial.println("Unable to find address for insideThermometer");
// assigns the seconds address found to outsideThermometer
//if (!oneWire.search(outsideThermometer)) Serial.println("Unable to find address for outsideThermometer");

// show the addresses we found on the bus
Serial.print("Endereço do Termometro 1: ");
printAddress(Termometro1);
Serial.println();

Serial.print("Endereço do Termometro 2: ");
printAddress(Termometro2);
Serial.println();

Serial.print("Endereço do Termometro 3: ");
printAddress(Termometro3);
Serial.println();

Serial.print("Endereço do Termometro 4: ");
printAddress(Termometro4);
Serial.println();

// set the resolution to 9 bit per device
sensors.setResolution(Termometro1, TEMPERATURE_PRECISION);
sensors.setResolution(Termometro2, TEMPERATURE_PRECISION);
sensors.setResolution(Termometro3, TEMPERATURE_PRECISION);
sensors.setResolution(Termometro4, TEMPERATURE_PRECISION);

Serial.print("Resolução do Termometro 1: ");
Serial.print(sensors.getResolution(Termometro1), DEC);
Serial.println();

Serial.print("Resolução do Termometro 2: ");
Serial.print(sensors.getResolution(Termometro2), DEC);
Serial.println();

Serial.print("Resolução do Termometro 3: ");
Serial.print(sensors.getResolution(Termometro3), DEC);
Serial.println();

Serial.print("Resolução do Termometro 4: ");
Serial.print(sensors.getResolution(Termometro4), DEC);
Serial.println();

}

```

```

// function to print a device address
void printAddress(DeviceAddress deviceAddress)
{
    for (uint8_t i = 0; i < 8; i++)
    {
        // zero pad the address if necessary
        if (deviceAddress[i] < 16) Serial.print("0");
        Serial.print(deviceAddress[i], HEX);
    }
}

// function to print the temperature for a device
void printTemperature(DeviceAddress deviceAddress)
{
    float tempC = sensors.getTempC(deviceAddress);
    Serial.print(tempC);
}

// function to print a device's resolution
void printResolution(DeviceAddress deviceAddress)
{
    Serial.print("Resolution: ");
    Serial.print(sensors.getResolution(deviceAddress));
    Serial.println();
}

// main function to print information about a device
void printData(DeviceAddress deviceAddress)
{
    Serial.print("Device Address: ");
    printAddress(deviceAddress);
    Serial.print(" ");
    printTemperature(deviceAddress);
    Serial.println();
}

/*
  Main function, calls the temperatures in a loop.
*/
void loop(void)
{
    // call sensors.requestTemperatures() to issue a global temperature
    // request to all devices on the bus
    //Serial.print("Requesting temperatures...");
    sensors.requestTemperatures();
    //Serial.println("DONE");
    delay(100);

    // print the device information
    printTemperature(Termometro1);Serial.print(";");printTemperature(Termometro2);Serial.print(";");
    printTemperature(Termometro3);Serial.print(";");printTemperature(Termometro4);Serial.println();
    delay(100);
}

```